

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

# **ИСТОРИЯ СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Научно-методическим советом  
Юргинского технологического института (филиала)  
Томского политехнического университета*

*Автор-составитель К.И. Томас*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2014

УДК 621.791(09)(075.8)

ББК 30.316я73

И90

**История сварочной техники и технологий:** учебное пособие / автор-сост. К.И. Томас; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 213 с.

В пособии приведены сведения об истории сварочной техники и технологиях, а также о выдающихся ученых и изобретателях, внесших весомый вклад в развитие науки о сварке. Описана история разработки и внедрения основных способов сварки и сварочных технологий в промышленность.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение», профиль подготовки «Оборудование и технология сварочного производства», специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства».

УДК 621.791(09)(075.8)  
ББК 30.316я73

*Рецензенты*

Доктор технических наук, старший научный сотрудник  
директор АНО «Научно-исследовательский  
институт интроскопии»

*О.А. Сидуленко*

Кандидат технических наук  
профессор кафедры материаловедения, литейного  
и сварочного производства Сибирского  
государственного индустриального университета

*С.Г. Рудаков*

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2014

© Томас К.И., составление, 2014

## Оглавление

Введение .....	5
1. Сварка в древности .....	6
2. Рождение и развитие электродуговой сварки.....	14
2.1. Открытие электрической дуги. ....	14
2.2. Изобретение дуговой сварки .....	16
2.3. Развитие дуговой сварки.....	24
2.4. Разработка и развитие дуговой сварки покрытыми электродами .....	31
2.5. Разработка и развитие сварки под флюсом .....	39
2.6. Разработка и развитие процесса сварки в защитных газах. ....	46
2.6.1. Сварка неплавящимся (TIG) и плавящимися (MIG) электродами в инертном газе.....	47
2.6.2. Сварка в углекислом газе (MAG).....	51
2.7. Плазменная сварка и резка .....	53
2.8. Электрошлаковая сварка и наплавка.....	57
3. Разработка процесса контактной электросварки.....	65
3.1. История изобретения и развития стыковой контактной сварки.....	65
3.2. История развития точечной шовной и рельефной сварок.....	77
4. Сварочные процессы, использующие тепло химических реакций .....	97
4.1. Разработка процесса газовой сварки и резки.....	97
4.2. Термитная сварка .....	103
5. Первые сварные конструкции .....	107
5.1. Кораблестроение .....	107
5.2. Несущие стальные конструкции для зданий .....	108
5.3. Мосты .....	109
5.4. Транспортные средства и оборудование.....	109
6. Сварка в годы Второй Мировой войны.....	111
7. Лучевые виды сварки .....	118
7.1. Электронно-лучевая сварка .....	118
7.2. Лазерная сварка .....	121
7.3. Сварка лучистым нагревом .....	123
8. Высокочастотная сварка .....	126
9. Ультразвуковая сварка .....	128
10. Сварка взрывом.....	132

11. Сварка трением .....	134
12. Диффузионная сварка.....	138
13. Сварка под водой .....	142
14. Сварка в космосе.....	148
Заключение .....	156
Приложение. Сведения о выдающихся ученых и изобретателях.....	158
Список литературы .....	208

## Введение

Сварка – это один из ведущих технологических процессов обработки металлов. XX век стал венком в котором сварные металлоконструкции совершили техническую революцию. Благодаря своим неоспоримым преимуществам сварка нашла широкое применение в производстве судов, турбин, котлов, самолетов, мостов, реакторов и многих других конструкций. Трудно найти отрасль, где бы не применялся тот или иной вид сварки. Различные способы сварки применяются и под водой и в космосе.

В развитие современной науки о сварке и разработке передовой сварочной техники большой вклад внесли советские ученые, инженеры, изобретатели и рационализаторы сварочного производства. Благодаря их труду создано большое количество типов сварочного оборудования, марок электродов, разработаны новые высокопроизводительные механизированные и автоматизированные сварочные процессы, предложены способы сварки многих металлов и сплавов, а также пластмасс.

Сегодня сварка – это основной способ соединения деталей при изготовлении различных металлоконструкций. Сварка, очень широко, применяется в комплексе с литьем, штамповкой и специальным прокатом отдельных элементов заготовок изделий. Сварка практически полностью вытеснила сложные и дорогие цельнолитые и цельноштампованные заготовки.

Прогресс никогда не стоит на месте. Нет сомнения в том, что в будущем сварные конструкции также будут основными инженерными сооружениями в различных отраслях. Реалии конкурентной борьбы постоянно ставят перед промышленностью все новые и новые задачи, выдвигают все новые и новые требования. То, что вчера называлось передовым, сегодня стало современным, а завтра уже устареет. Это относится и к сварочному оборудованию, поэтому сварщикам нужно следить за его развитием, осваивать передовые технологии.

Сварка и родственные технологии продолжают активно и всесторонне развиваться как вглубь, так и вширь. Создаются теоретические и технологические предпосылки изготовления новых изделий в традиционных областях сварочного производства, а также освоения все более широких сфер применения.

## 1. Сварка в древности

Многие достижения человечества берут начало из древности, не исключение и достижения в области сварочных технологий.

Первые способы сварки появились с началом освоения человеком цветных и черных металлов.

Древнейшим источником металла были случайно находимые кусочки самородных металлов – золота, серебра, меди, метеоритного железа, которых при помощи каменного орудия можно было обковывать пластинки, острые лезвия, скребки и т. п. Ковка с небольшим подогревом позволяла соединять мелкие кусочки металлов в более крупные, пригодные для изготовления простейших изделий. По сути это был уже один из видов сварки – сварка в холодном состоянии путём приложения деформирующих усилий. Способ холодной сварки совершенствуется до сих пор и находит эффективное применение в наше время [1].

За несколько тысячелетий до нашей эры некоторые племена научились добывать из руды медь. Но техникой литья они ещё не овладели и, чтобы изготовить крупное изделие из меди, им приходилось прибегать к сварке отдельных подогретых кусков металла. Подогрев металла до пластического состояния облегчал схватывание, а процесс соединения напоминал ковку. Это способ сварки называется кузнечной сваркой, т. е. процесс получения неразъемного соединения с помощьюковки [1].

Появление такого материала как бронза (сплава меди и олова), заставило древних умельцев приняться за разработку новых методов соединения отдельных элементов вместе. В сравнении с медью бронза обладает более высокими прочностью, твёрдостью и сопротивлением к истиранию. Но её пластичность намного ниже пластичности меди. Поэтому холодная сварка бронзы, даже с небольшим подогревом, не позволяла получать качественные соединения деталей. К тому же увеличились и размеры изготавливаемых изделий, а их трудно разогреть равномерно. Поэтому долгое время умельцы древних племен для соединения деталей из бронзы использовали клепку, скручивание или фальцовку. Скорей всего, древние мастера не раз наблюдали, как перегретые капельки расплавленной бронзы, попадая на бронзовые пластины, иногда прочно «схватывались» с ними. Это свойство – схватываться, привариваться – и было положено в основу сварки «залيفкой» или, как правильно ее называют, литейной сварки, сущность которой заключалась в том, что зазор между соединяемыми заготовками заполнялся расплавленным металлом и деформирование сварного соединения проис-

ходило в твердожидком состоянии. Этим способом, вероятно, были изготовлены в VII–III вв. до н. э. бронзовые сосуды высотой 310 мм с толщиной стенок всего 0,5...0,7 мм найденные на землях бывшей Римской Империи [2].

В III...II тысячелетиях до н. э. в различных районах земного шара начали получать железо. При этом в некоторых случаях масса изделий намного превышала то количество металла, которое можно было получить за одну плавку по существовавшей тогда технологии. Наиболее ярким примером является знаменитый памятник в Индии – колонна (рис. 1.1), выполненная из весьма чистого железа (99,97 % Fe).



*Рис. 1.1. Железный «столб счастья» в г. Дели (Индия). Считается, что если стать к колонне спиной и охватить её сзади руками, это принесёт счастье (другой вариант поверья – исполнится загаданное желание) [5]*

Колонна весит около 6,5 тонн, имеет высоту 7,3 м при диаметрах у основания 416 мм, а у верха – 295 мм и относится она к 415 г. н. э.

А ведь вплоть до начала XIX века не было известно способов получения температур, достаточных для расплавления железа и литья изделий из него. Горение обыкновенной древесины создаёт температуру 1000...1100 °С, достаточную для плавления меди и её сплавов. Но чтобы выплавить чистое железо, нужна температура порядка 1550 °С. Нет печей и неизвестны методы создания такой температуры, причём понадобятся тысячелетия, прежде чем появятся технические возможности достижения её.

Одной из гипотез, объясняющей создание этой колонны, является применение кричного (сыродутный) способа получения железа с последующей ковкой заготовок (кузнечной сваркой криц) в нагретом состоянии. Сначала в горнах при температурах порядка 1000 °С восстановлением железной руды древесным углем получали крицу, имеющую вид губчатой массы и состоящую из зёрен чистого железа и шлака. А затем крицу неоднократно проковывали в нагретом состоянии. При этом отдельные частицы железа соединялись – сваривались, образуя плотный металл. Такое железо называли сварочным. Нагрев и ковку повторяли многократно, вследствие чего «сварочное железо» становилось чище и плотнее. Для раскисления добавляли природные сланцы. Такие же технические приемы применяли и при ремонте разрушенных изделий из железа и для изготовления орудий труда и оружия [2].

Большое значение для развития техники обработки черных металлов имела сварка железа с разным содержанием углерода с целью улучшения качества лезвия режущих и рубящих орудий. Это требовало большого мастерства кузнецов, т. к. температура сварки железа с различным содержанием углерода неодинакова. При изготовлении мечей, дротиков, ножей выполняли сварку полос железа и стали с выходом последней на режущую часть лезвия. Это давало хорошее сочетание мягкого и вязкого железа или низкоуглеродистой стали с твердой, но хрупкой сталью, содержащей большое количество углерода.

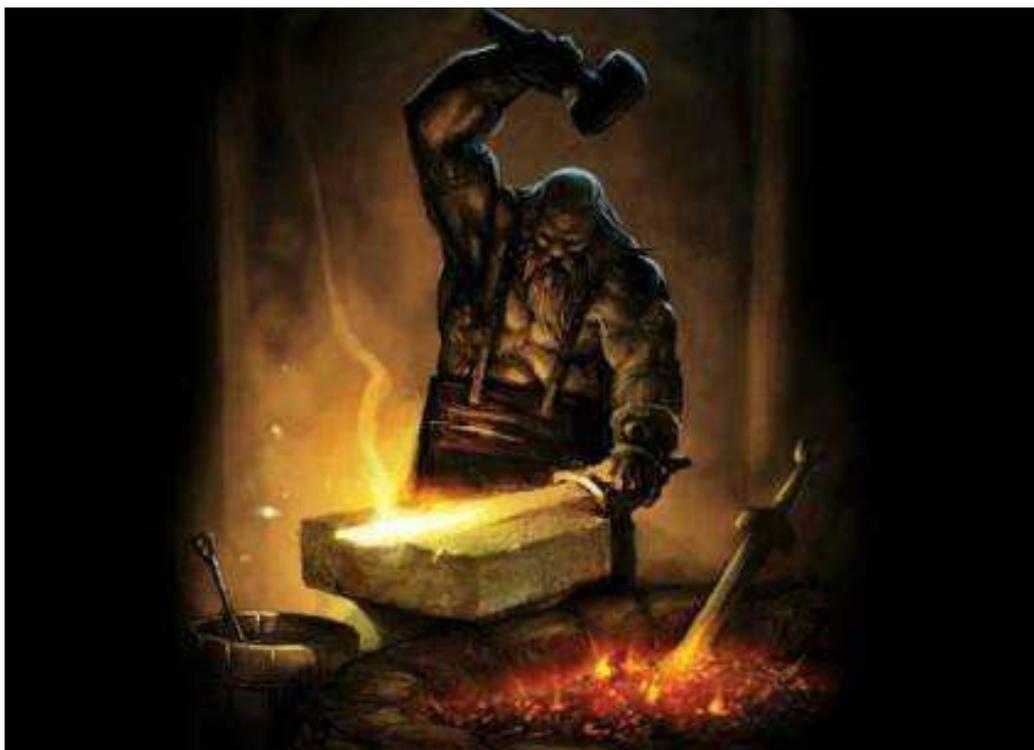
Часто при изготовлении ножей, серпов, топоров кузнецы–сварщики наваривали небольшую стальную пластину на режущую часть лезвия.

Множество железных мечей хранится в различных музеях мира. Удивительны по своей конструкции мечи I–II вв., найденные на местах бывших римских крепостей, поднятые с затонувших кораблей. Клинки мечей неоднородны по толщине и представляют собой чередующиеся в определённой последовательности слои твёрдой стали и мягкого железа. Такие мечи обладали высокой прочностью и к тому же были самозатачивающимися.

Современными методами металлографии установлено, что один из клинков имел одиннадцать слоёв. Такая работа требовала овладения

всеми премудростями кузнечной сварки, огромного опыта, интуиции (о науке говорить было ещё рано). Многослойные тонкие клинки с дифференцированными свойствами можно считать вершиной кузнечной сварки.

У многих народов кузнецов почитали наравне с князьями, шаманами, знахарями. Кузнечное ремесло было в таком почёте, что, согласно греческой мифологии, им не погнушался заниматься один из олимпийских богов – Гефест (рис. 1.2), покровитель искусств и ремёсел.



*Рис. 1.2. Гефест-бог кузнец*

При изготовлении ювелирных изделий из золота, серебра, бронзы в раннем железном периоде широко использовали пайку. Между частями, которые нужно соединить в единое целое изделие, закладывались кусочки сплава – припоя и собранное таким образом изделие нагревали до температуры, достаточной для расплавления припоя, но ниже основного металла. Припой растекался по зазору, смачивая кромки, диффундировал в металл и после остывания схватывал кромки.

Рано или поздно древние ювелиры должны были обнаружить, что для соединения металлов и сплавов методом заливки можно применять такие сплавы, которые плавятся при меньшей температуре, чем материал соединяемых деталей изделия. Например, стоило только в золото добавить медь или серебро, как образовывался сплав с меньшей, чем у исходных компонентов, температурой плавления. Спустя тысячи лет ме-

талловеды исследуют влияние составов сплавов на температуру их плавления, начертят диаграммы состояния всевозможных комбинаций металлов и, в частности, установят, что сплав 20 % золота и 80 % меди плавится при температуре 886 °С (тогда как температура плавления технически чистого золота 1064 °С, а меди – 1083 °С), сплав 70 % серебра с 30 % меди плавится при 780 °С (температура плавления чистого серебра 961 °С). Это свойство сплавов и было использовано для пайки [2].

Искусство пайки совершенствовалось, появлялись новые припои, начали применять флюсы, растворяющие и связывающие оксиды, мешающие припою диффундировать. В VIII–X в.в. появляются легкоплавкие свинцовисто-оловянистые припои.

Еще в египетских пирамидах археологи неоднократно находили предметы из золота и серебра, спаянные оловом. А в Помпее, погибшей при извержении Везувия, были обнаружены свинцовые водопроводные трубы, спаянные продольным швом.

Многие золотые украшения и предметы быта, найденные в скифских курганах, сделаны с помощью пайки (рис. 1.3).



*Рис. 1.3. Золотая бляха из Сибирской коллекции Петра I*

Своей поразительной красотой шедевры древнего искусства обязаны не только таланту художников, но и мастерству умельцев, осуществлявших пайку. Причём на многих изделиях даже невозможно заметить шов.

Значительного успеха искусство металлообработки достигло в Киевской Руси в IX...XII вв. Уровень производства и обработки был достаточно высоким, чтобы изготавливать прекрасные ювелирные украшения (рис. 1.4), вооружение и многочисленные орудия труда. Эти изделия отличались высоким качеством и чистотой сварных швов в местах соединений. Для изготовления мечей, наконечников копий применяли сталь и железо различных сортов. Часто из прочной стали делали только режущую кромку и наваривали на неё кузнечным способом сталь помягче. Кузнецы даже клеймили свои изделия, наваривая на металл буквы и знаки [2].

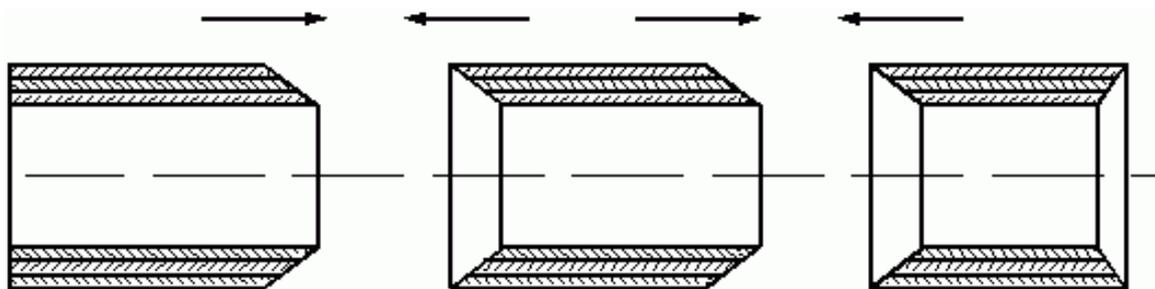


*Рис. 1.4. Ювелирные украшения IX–XII вв., пайка*

Металлургия и металлообработка больших успехов достигли в Древней Руси в X–XIII вв. в связи с высоким развитием древнерусского ремесла. Технический уровень на Руси был выше, чем в Западной Европе. С помощью кузнечной сварки изготавливалось более 70 % металлических изделий. С успехом применяли сварку железа с высокоуглеродистой сталью (до 0,9 %).

Развитие производительных сил, подъём экономики на Руси, освободительная борьба русского народа против монголо-татарского ига подняли на новую ступень кузнечно-сварочное дело. В 1382 году против орды хана Тохтамыша использовали ковано-сварные пушки, при изготовлении которых железную крицу расковывали в лист, а затем его скручивали на железной оправке в трубу. Взаимно перекрывавшиеся кромки листа сваривали внахлестку продольным швом. Затем на эту трубу наворачивали ещё один или два листа, следя за тем, чтобы сварные швы не совпадали. Получалась часть ствола. Несколько таких многослойных частей заготовок соединяли между собой. При этом сопрягаемые концы заготовок предварительно отковывали в виде внутреннего или наружного конуса, что позволяло их затем соединить внахлестку

кузнечной сваркой (рис. 1.5). В казенную часть ствола вваривали коническую железную заглушку, а рядом прорубалось запальное отверстие [2].



*Рис. 1.5. Схема элементов ствола пушки, получаемого кузнечной сваркой*

В XIX в. в промышленности кузнечная сварка была механизирована. От кустарного производства перешли к заводскому цеху высокой производительности. Ручной труд молотобойца был механизирован (заменен работой машин), т. е. стали применяться механические молоты с весом бойка до 1 т., производящим от 100 до 400 ударов в минуту. Стыки более крупных деталей обжимаются на мощных гидравлических прессах. Значительно улучшились конструкции печей для нагрева свариваемых деталей, заменивших первоначальные примитивные кузнечные горны. Печи переводятся на твердое, жидкое и газообразное топливо.

Технология кузнечной сварки также была усовершенствована. Способом кузнечной сварки готовили биметалл. Листы разнородных металлов собирали в пакет, который нагревали в печах и пропускали через валки прокатного стана. Значительное применение кузнечная сварка находила в производстве сварных стальных труб с прямолинейным продольным нахлесточным швом; кромки шва предварительно скашивали, заготовку нагревали в печи и затем шов прокатывали на сердечнике. Таким способом изготавливали трубы диаметром от 40 до нескольких сотен миллиметров. Помимо прямошовных, изготавливали и спирально-шовные трубы диаметром до 600 мм. Для повышения производительности сварки и качества сварного соединения начали применять сварку водяным газом на специальных установках, где металл нагревали мощными горелками, работавшими на водяном газе с воздухом, а нагретые кромки на той же машине сваривали проковкой механическими молотами или прокаткой нажимными роликами. Широко применялась кузнечная сварка в производстве разного вида инструментов и орудий труда, например топоров для присоединения рабочей или режущей части высокоуглеродистой стали к державке из более мягкой стали.

Однако во многих отраслях производства кузнечная сварка ввиду ограниченных возможностей пламени, уже не удовлетворяла возросшим требованиям техники. Она была трудоёмка, малопроизводительна, требовала создания громоздких печей и молотов, но главное – качество сварных швов было нестабильным и не удовлетворяло требованиям развивающейся техники: при большом числе свариваемых заготовок имели место дефекты – непровары, приводившие к расслоению металла и разрушению нагруженных деталей во время работы. Это было обусловлено тем, что основными технологическими параметрами процесса сварки являлись температура свариваемого металла и величина его деформации в зоне сварки (обусловленная ударами молота), которые трудно было выдерживать в требуемом достаточно узком диапазоне.

Возникла настоятельная необходимость в новых технологиях соединения материалов, в первую очередь металлов [2] [3].

## 2. Рождение и развитие электродуговой сварки

### 2.1. Открытие электрической дуги

С электрическими явлениями в природе человек познакомился очень давно. Такими явлениями были: гроза; способность янтаря, натёртого шерстью, притягивать мелкие частички различных веществ; с древних времён были известны людям и некоторые свойства природных магнитов и т. д.

За 2000 лет до нашей эры в Китае использовали компас.

В 1600 г. англичанин Уильям Гильберт<sup>1</sup> (*здесь и далее см. Приложение. Сведения о выдающихся ученых и изобретателях*) опубликовал книгу «Про магнит, магнитные тела и большой магнит-Землю», занимаясь вопросами электрических и магнитных явлений, открыл магнитную индукцию.

В 1672 г. немецкий физик Отто фон Герике<sup>2</sup> создал машину, в которой при трении получался заряд статического электричества.

В 1745 г. нидерландский физик Питер ван Мушенбрук<sup>3</sup> изобрел электрический конденсатор для накапливания электричества.

Исследование по выяснению природы грозового электричества производили Ломоносов<sup>4</sup> и Рихман<sup>5</sup>.

В России интерес к электричеству постоянно возрастал со времён Ломоносова. В 1799 г. А. Вольта<sup>6</sup> в Италии построил первый в мире источник электрического тока «вольтов столб», который состоял из разнородных металлических кружков (медь + цинк, серебро + цинк), проложенных бумажными кружками, смоченными водным раствором нашатыря [6].

В начале 1802 года профессор Петербургской медико-хирургической академии В.В. Петров<sup>7</sup> построил самый крупный для того времени источник тока – батарею из 4200 пар медных и цинковых кружков. К ее медному полюсу он присоединил первоначально медную, а затем стальную проволоку с конусной шляпкой, к цинковому полюсу – стальную осургученную проволоку, на острие которой иногда надевал древесный уголек (рис. 2.1). Именно этой батарее и было суждено стать исторической: на ней была впервые в мире получена электрическая дуга. Её назвали вольтовой, по названию источника тока – вольтова столба. Петров В.В. отметил, что дуговой разряд является источником чрезвычайно яркого света, пригодного для освещения. Им было установлено, что дуговой разряд развивает весьма высокую температуру, рас-

плавляет и обращает в пары все металлы, которые в форме полосок и проволочек были введены в пламя дугового разряда. Таким образом, сразу были намечены возможности практического использования дугового разряда для освещения и плавления металлов [2].

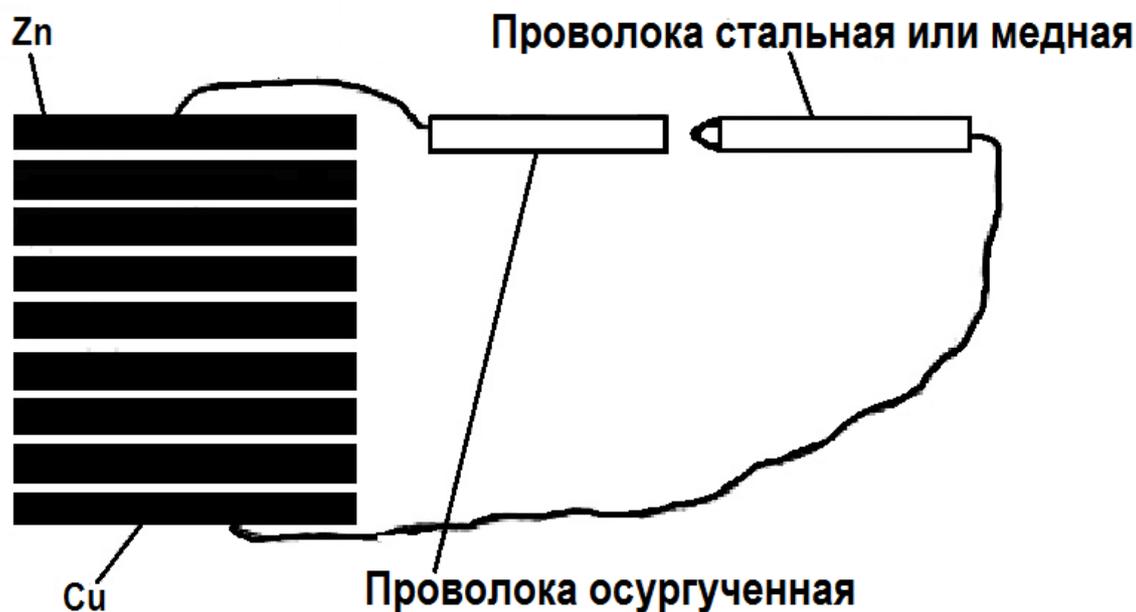


Рис. 2.1. Схема опытов В.В. Петрова

Часть открытия дуги начали присваивать Г. Дэви<sup>8</sup> – крупному английскому физика и химику, который в 1808 году также обнаружил электрическую дугу. Доклад, сделанный им по этому поводу не привлек внимания научного мира, т. е. отнеслись к этому открытию как к научному курьезу [6].

В 1815 г. английский химик Чилдрен<sup>9</sup> расплавил и наварил в электрической дуге иридий, оксид церия и другие тугоплавкие материалы.

Петрова не вспоминали до тех пор, пока электрическая дуга не стала служить человечеству и один петербургский студент не обнаружил книгу Петрова, изданную в 1803 году «Известие о гальвани-вольтовых опытах» о световом явлении посредством гальвани-вольтовой жидкости. «Пламя» горящее между двумя горизонтально расположенными углями – электродами принимало форму направленной вверх дуги и позже получило это название [6].

В 1900 году на Всемирной Парижской выставке в числе выдающихся электриков была названа фамилия русского ученого Петрова.

В 1820 году датский физик Эрстед<sup>10</sup> открыл магнитное поле, окружающее проводник с током.

В 1821 году Дэви продолжал исследования с дугой, описал действие магнитного поля на дугу.

Примерно в это же время французский ученый Араго Д.Ф.<sup>11</sup> изобрел электромагнит, а французский же физик Ампер<sup>12</sup> установил, что протекающие по параллельным проводникам токи притягивают или отталкивают друг друга.

В 1831 году английский физик Фарадей<sup>13</sup> открывает явление электромагнитной индукции, заложив тем самым основы электротехники.

Максвелл<sup>14</sup> вывел уравнение характеризующее электромагнитные поля и происходящие в них процессы.

Большой вклад в развитие основ электротехники внесли русские ученые – Якоби<sup>15</sup>, Ленц<sup>16</sup>, Лачинов<sup>17</sup> и другие.

В середине 19 века разрабатываются конструкции ламп для бытового освещения и прожекторов.

В 1876 году русский изобретатель П.Н. Яблочков<sup>18</sup> создал так называемую «свечу Яблочкова» – дуговые лампы освещения улицы Петербурга, Парижа, Лондона. Они были снабжены автоматическими регуляторами, содержащими настоящую длину дуги.

Большой вклад в совершенствование конструкций ламп внес В.Н. Чиколев<sup>19</sup>.

## 2.2. Изобретение дуговой сварки

К моменту открытия дугового разряда электротехника только начинала создаваться, электротехнической промышленности не было. Для технического использования дугового разряда, прежде всего, не хватало сколько-нибудь приемлемых источников тока для питания дуги, достаточно мощных, не слишком сложных в эксплуатации и дающих недорогую электрическую энергию. Кроме источников тока, необходима была различная электрическая аппаратура: выключатели, регуляторы, измерительные приборы, электрические провода, кабели и пр., а они в то время отсутствовали.

От открытия В.В. Петрова до технического применения дугового разряда с целью соединения (сварки) и разъединения (резки) металлов прошло около 80 лет. Открытие В.В. Петрова значительно опередило свой век. Надо было появиться на свет новому русскому умельцу-самородку Николаю Николаевичу Бенардосу<sup>20</sup>, который на основании дуги Петрова и достижений мировой электротехники создал принципиально новый способ сварки и резки металлов – электродуговой [2].

В конце 70-х – начале 80-х годов Н.Н. Бенардос, работая в Кинешме на электротехническом заводе и в Петербурге на предприятии

П.Н. Яблочкова, начал соединять элементы свинцовых аккумуляторов, расплавляя кромки теплом электрической дуги. В 1881 г. он демонстрирует новый способ сварки металлов в лаборатории Кабата в Париже. Вот что сказано о первых работах Бенардоса в известном французском Электротехническом словаре Дюмона (Dumont): «Работая в 1881 г. в лаборатории Кабата, Бенардос сделал первые попытки применения электрической энергии для сварки свинцовых пластин аккумуляторов. Так как результаты опытов оказались удовлетворительными, то Бенардос применил свой способ сварки и к другим металлам и таким путем был приведен к созданию новой промышленности». Своему изобретению Н.Н. Бенардос дал название «Электрогефест», произведя его от имени Гефеста – бога-кузнеца, покровителя ремесел в древнегреческой мифологии.

После детальной разработки способа «Электрогефест» Н.Н. Бенардос получил патенты на него в Англии, Бельгии, Германии, Италии, России, США, Франции, Швеции и других странах. Русский патент, или, как тогда называли, привилегию, он получил только 31 декабря 1886 г. за № 11982 на «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока». Так официально был создан первый способ дуговой сварки, принесший Бенардосу мировую славу.

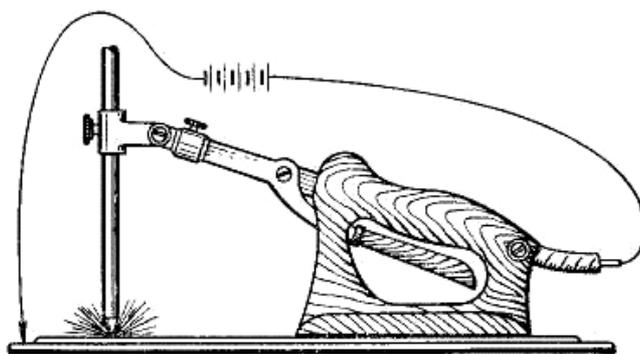
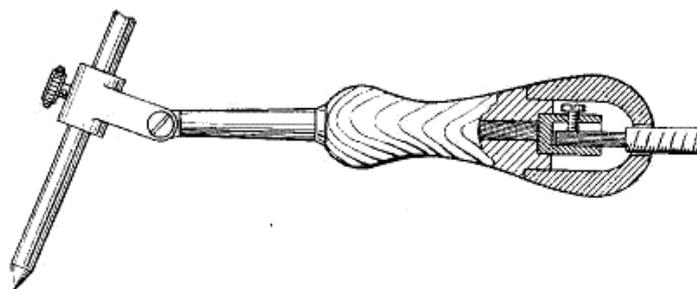
Сущность изобретения и возможные области его применения сформулированы в привилегии следующим образом: «Предмет изобретения составляет способ соединения и разъединения металлов действием электрического тока, названный «Электрогефест» и основанный на непосредственном образовании вольтовой дуги между местом обработки металла, составляющим один электрод, и подводимую к этому месту рукояткою, содержащей другой электрод, соединенный с соответственным полюсом источника электрического тока. С помощью этого способа могут быть выполнены следующие работы: соединение частей между собою, разъединение и разрезывание металлов на части, сверление или производство отверстий и полостей и наплавление слоями» (рис. 2.2; 2.3) [2].

Как видно из привилегии, Н.Н. Бенардос применял созданный им способ не только для сварки, но и для наплавки и резки металлов.

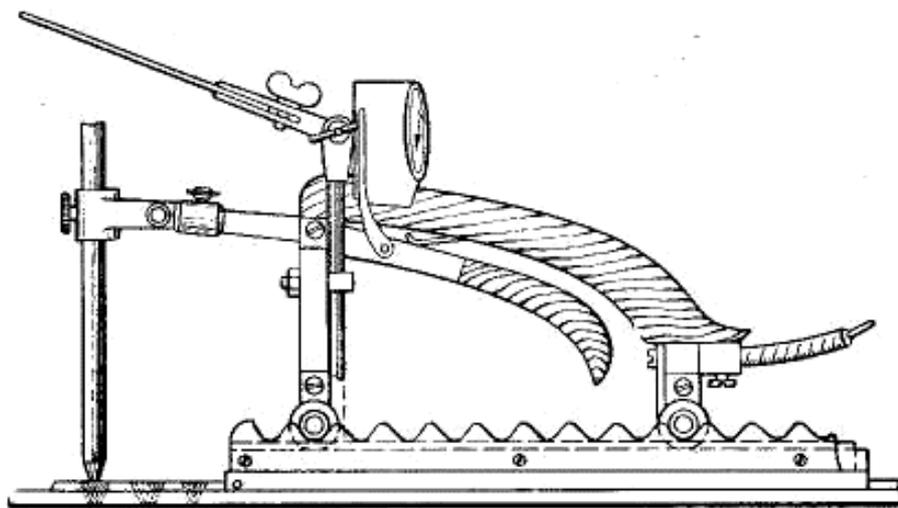
Иногда под сваркой по методу Бенардоса подразумевают сварку только угольным электродом. Однако это не вполне точно. В привилегии по этому вопросу сказано: «Вольтова дуга образуется в месте, где должна быть произведена одна из вышеупомянутых работ приближением угля (или другого проводящего вещества) к обрабатываемой части, причем этот уголь будет положительным или отрицательным полюсом,

а другим полюсом будет обрабатываемая часть. Угли или вещества, заменяющие уголь, могут иметь различные формы» [2].

Ознакомление с привилегией Бенардоса показывает, что это – результат многолетней систематической напряженной работы. Изобретение разработано до мельчайших деталей, многократно проверено на практике и включает в себе множество отдельных изобретений, объединяемых общей идеей.



*Рис. 2.2. Держатели для дуговой сварки, предложенные Н.Н. Бенардосом*



*Рис. 2.3. Держатель для точечной дуговой сварки, предложенный Н.Н. Бенардосом*

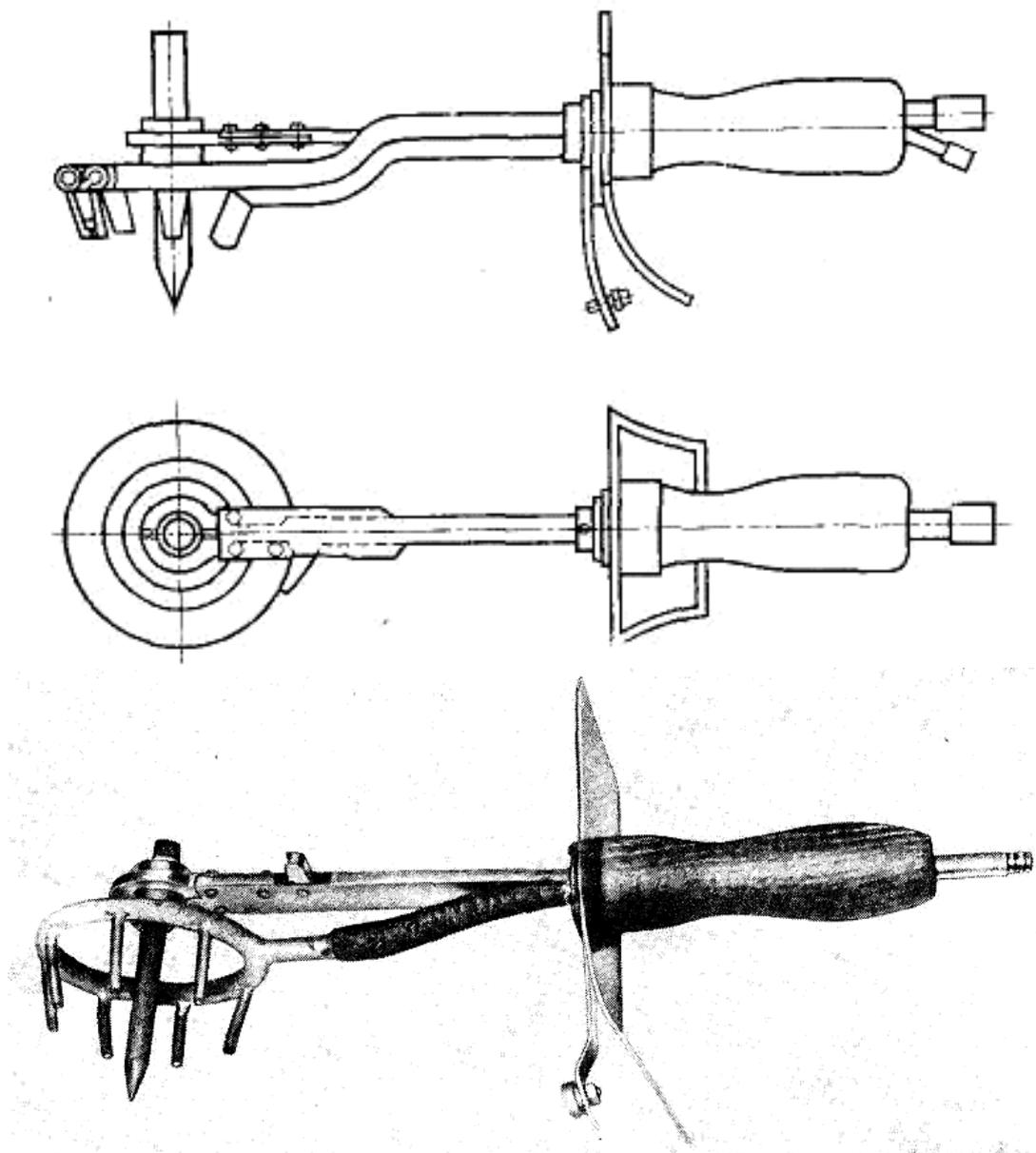
Н.Н. Бенардос разработал технологию дуговой сварки и типы сварных соединений, применяемых и в настоящее время (встык, внахлестку, заклепками и др.); при сварке металла значительных толщин он применял скос кромок; при выполнении стыковых сварных швов с разделкой кромок присадочный металл предварительно закладывался в место будущего шва. Подготовка кромок при сварке тонких листов заключалась в отбортовке их краев; в этом случае присадочный металл не применялся. В зависимости от толщины металла между свариваемыми частями при сборке под сварку устанавливался зазор, величина которого определялась толщиной соединяемых изделий. Многие эти и другие приемы выполняются и в настоящее время. Для улучшения качества сварки применялись флюсы: при сварке сталей – кварцевый песок, мрамор, при сварке меди – бура и нашатырь.

Работая над совершенствованием способов дуговой сварки, Н.Н. Бенардос создал большое количество оригинальных приспособлений и устройств. Некоторые из предложенных им трубчатых электродов получили в настоящее время практическое применение. Изобретатель создал комбинированные электродержатели с угольными электродами, вокруг которых концентрически располагались сопла для подачи светящего газа и кислорода (рис. 2.4). Одновременная работа сварочной дуги и газового пламени увеличивала поверхность нагрева и защищала расплавленный металл от вредного влияния воздуха. Способ, предложенный Бенардосом, стал предметом дальнейшей разработки; в нем можно видеть черты современного способа дуговой сварки в защитном газе.

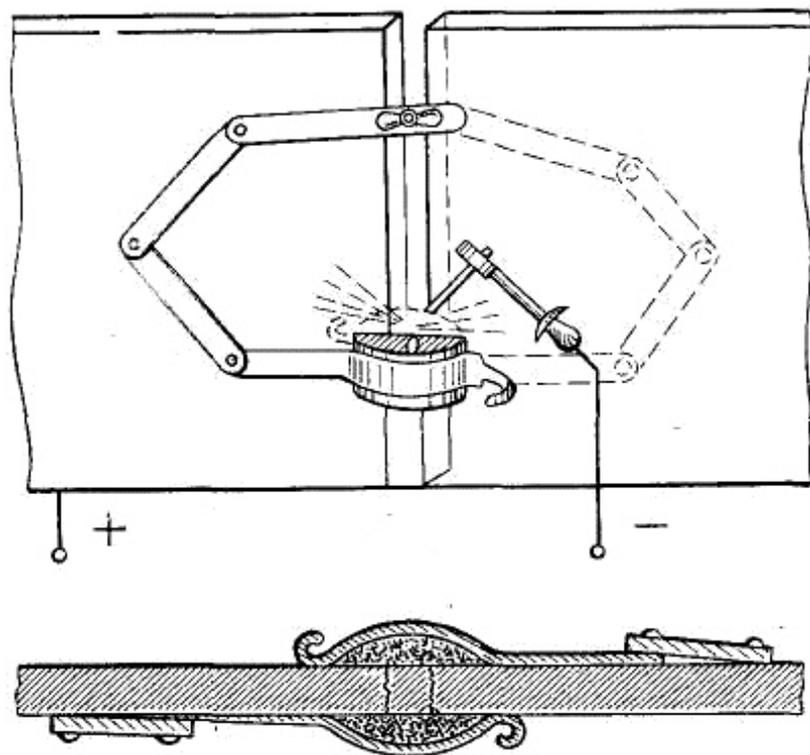
Н.Н. Бенардос предложил для сварки листов вертикальным швом приспособление, в котором шов выполнялся с принудительным формированием (рис. 2.5), а также способ изготовления спиральных труб из металлической ленты, которую сваривали по винтовой линии стыка, образующегося при свертывании ленты. Образец такой трубы экспонировался им на IV электрической выставке в Петербурге в 1892 г. Это изобретение нашло широкое применение в наши дни. С целью улучшения качества металла шва Н.Н. Бенардос первым ввел прокатку сварных швов, выполненных угольной дугой. Он построил автоматический станок, производящий проковку и уплотнение шва одновременно со сваркой, и предложил способы резки металла электрической дугой на воздухе и под водой.

Н.Н. Бенардос сделал первые шаги в области регулирования дуги, разработал устройство для сварки косвенной дугой с автоматическим регулятором (рис. 2.6), а также установку для дуговой сварки с автоматическим регулированием дуги (рис. 2.7).

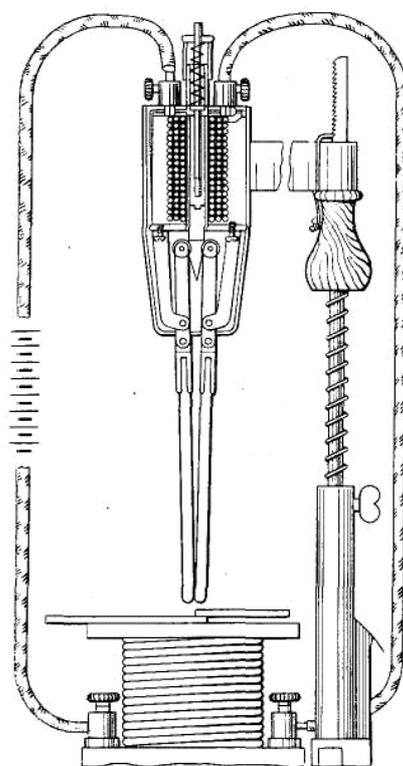
Патентование изобретений в России стоило больших денег и осуществлялось в основном с коммерческими целями. Н.Н. Бенардос не располагал достаточными средствами для получения привилегий на изобретения, поэтому многие свои идеи и разработки он не запатентовал, при патентовании некоторых изобретений в качестве соавторов привлекал состоятельных компаньонов.



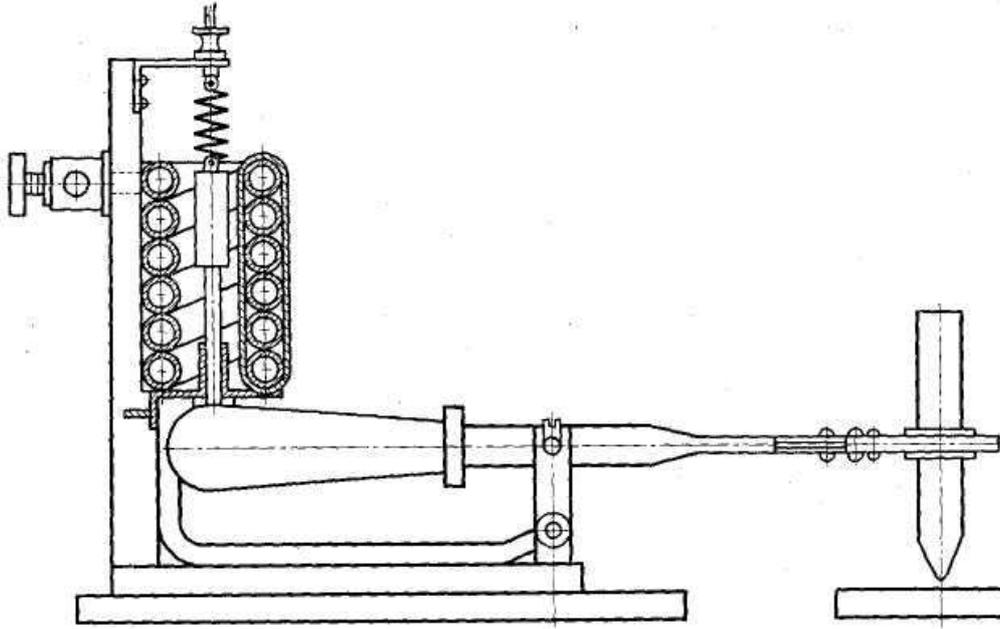
*Рис. 2.4. Горелка Н.Н. Бенардоса для сварки угольной дугой в атмосфере защитных газов*



*Рис. 2.5. Приспособление Н.Н. Бенардоса для сварки встык вертикальных швов*



*Рис. 2.6. Устройство Н.Н. Бенардоса для сварки косвенной (независимой) дугой с автоматическим регулятором дуги*

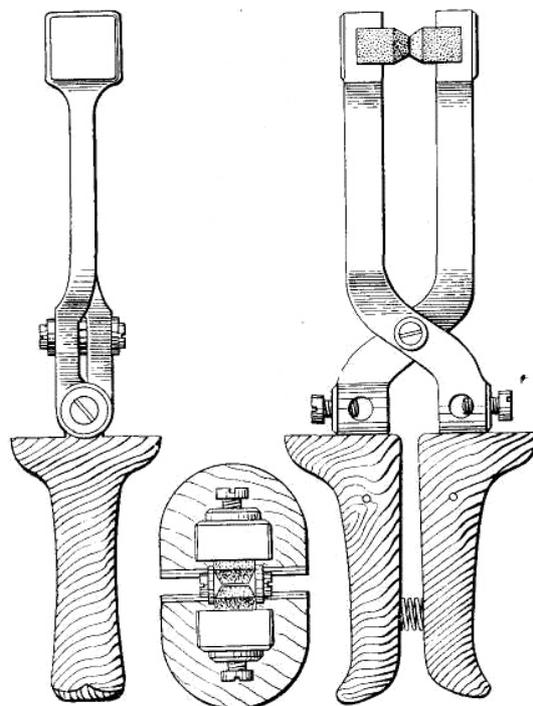


*Рис. 2.7. Установка Н.Н. Бенардоса для дуговой сварки с автоматическим регулированием дуги*

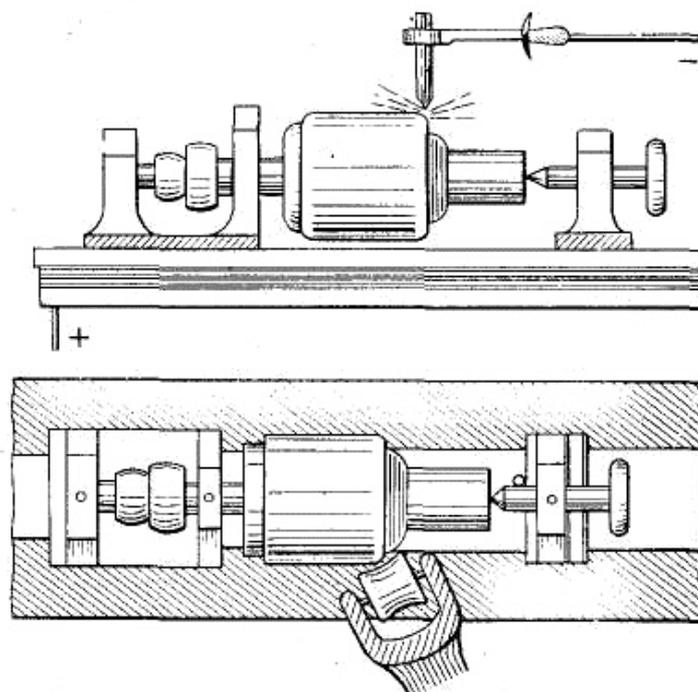
Наиболее активным и плодотворным в его творчестве был период с 1884 г. в Петербурге. Он разработал ряд новых изобретений, примером которых служат клещи для точечной сварки (рис. 2.8), и энергично занимался дальнейшим усовершенствованием и внедрением дуговой сварки на заводах и особенно на железных дорогах (рис. 2.9). Бенардос окончательно отработал систему питания сварки током, в том числе многопостовую (рис. 2.10). Он предложил систему питания, включающую генератор постоянного тока и параллельно присоединенную батарею электрических аккумуляторов. Система оказалась удачной для своего времени. Достаточно иметь генератор небольшой мощности, заряжавший в перерывах между сваркой мощную аккумуляторную батарею, содержащую 200–300 и более отдельных аккумуляторов, которые несли основную нагрузку при сварке. Система работала на ряде предприятий как в России, так и за границей. Бенардос стал известным специалистом по аккумуляторам и разработал несколько изобретений в этой области [2].

Однако особое внимание он уделял разработке технологии и практическому использованию своего способа сварки «Электрогефест». В 1885 г. в Петербурге было создано общество «Электрогефест», имевшее целью дальнейшее развитие и эксплуатацию дуговой сварки. Общество организовало завод, на котором производились различные сварочные работы, и лабораторию, где демонстрировались посетителям приемы сварки, проводились опыты. Но это общество не могло обеспе-

чить быстрого распространения сварки в России. Для этого не было ни необходимых капиталов, ни серьезной производственной базы, ни организаторского опыта. Общество ограничивалось преимущественно продажей лицензий и консультациями [2] [4].



*Рис. 2.8. Клещи Н.Н. Бенардоса для контактной сварки*



*Рис. 2.9. Станок Н.Н. Бенардоса для приварки доньев к цилиндрам*

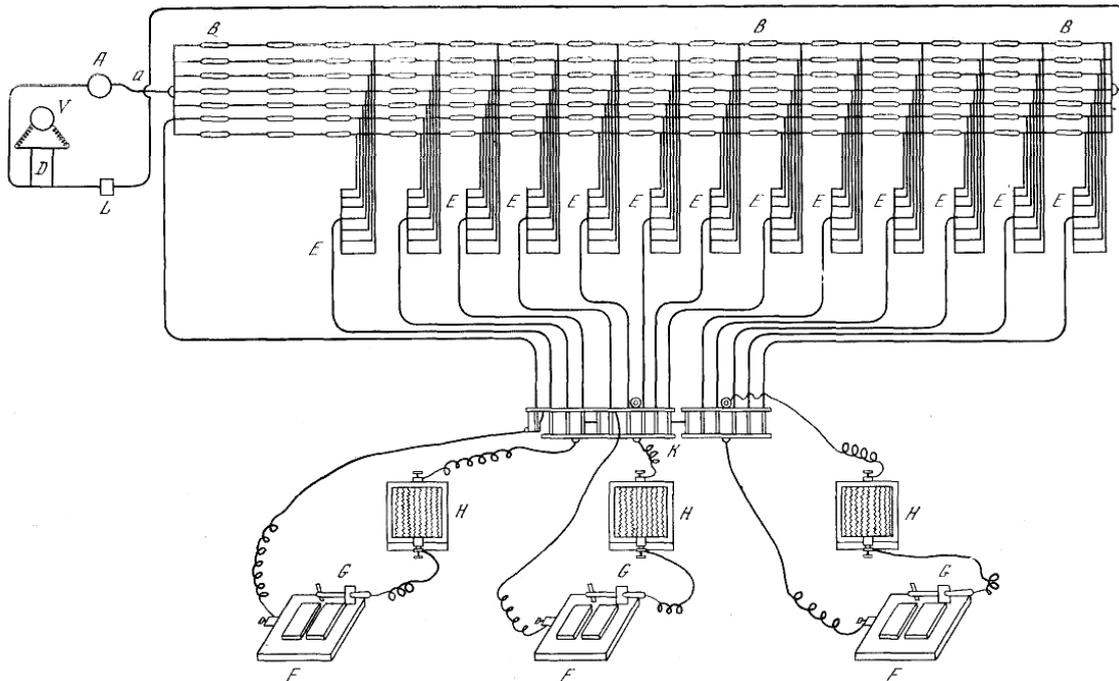


Рис. 2.10. Схема многопостовой сварки по проекту Н.Н. Бенардоса:  
*A* – амперметр; *V* – вольтметр; *D* – генератор (динамо-машина); *L* – выключатель («размыкатель»); *B* – батарея аккумуляторов; *E* – коммутатор; *K* – «главный» коммутатор; *H* – реостат; *G* – держатель; *F* – сварочный стол («наковальня»)

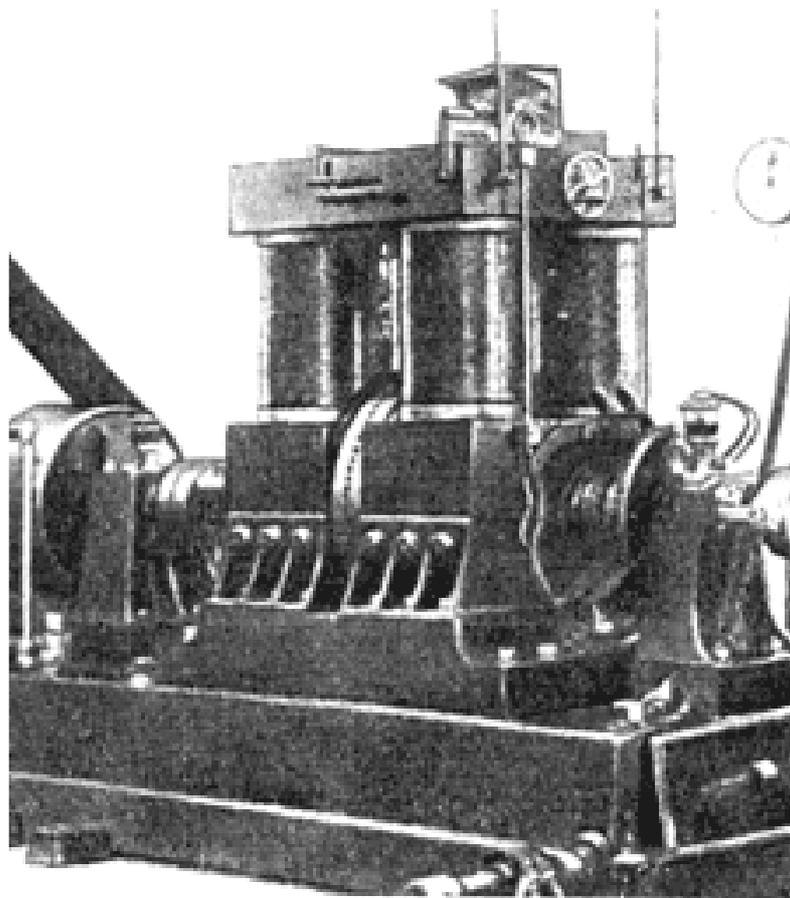
### 2.3. Развитие дуговой сварки

Почти одновременно с Н.Н. Бенардосом работал крупнейший изобретатель - Н.Г. Славянов<sup>21</sup>, много сделавший для развития дуговой сварки.

Славянов критически оценил изобретение Бенардоса и внес в него существенные усовершенствования, касающиеся в первую очередь металлургии сварки. Сварка сталей, содержащих легирующие компоненты и примеси, не всегда получалась удачной, потому что в шов попадали оксидные включения, в нем скапливались сера и фосфор; металл выгорал и становился хрупким в месте сварки [2].

Н.Г. Славянов заменил неплавящийся угольный электрод металлическим плавящимся электродом-стержнем, сходным по химическому составу со свариваемым изделием. Но самое главное то, что сварочная ванна была защищена слоем шлака – расплавленного металлургического флюса. Такой процесс повышал качество наплавленного металла при сварке.

Н.Г. Славянов разработал специальный сварочный генератор на 1000 А, заменивший аккумуляторную батарею Бенардоса (рис. 2.11).



*Рис. 2.11. Первый электрический генератор для сварки, разработанный и построенный Н.Г. Славяновым*

К концу 1880-х годов в европейских странах и США быстрыми темпами развивается машиностроение, судостроение, энергетика. Растёт масса стальных отливок. Всё дороже обходится брак: трещины, раковины, поры. Из-за этого массивные детали идут на переплав. Это происходит повсюду, в том числе и в Перми, и Н.Г. Славянов начинает применять свой новый способ для исправления дефектов литья, ремонта деталей паровозов, паровых машин, зубчатых колёс и т. д.

О масштабе решаемых задач в некоторой степени можно судить по сведениям, приведенным в таблице (рис. 2.12) Только за три с половиной года на Мотовилихинском заводе было выполнено более 1600 работ по сварке и наплавке ответственных изделий.

Способ Славянова Получил диплом первой степени и золотую медаль на Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году за удивительный экспонат из России – металлический двенадцатигранный стакан высотой 210 мм. Николай Гаврилович наварил на сталь один за другим электроды из бронзы, томпака (сплав меди с цинком), никеля, стали, чугуна, нейзильбера (сплав меди с цинком и никелем).

Время производства работы	Имя заказчика	Название и назначение исправ. вещи	В чем состояло исправление	Вес
				П. Ф.
Январь 1891 г. № 1 (рис. 1)	Механическая фабрика Пермских пушечных заводов	Зубчатое колесо от токарного станка	Прилиты одиннадцать зубцов	— 24
№ 2 (рис. 2)	Пароход «Пушкаръ». Пермский пушечный завод	Пробка-золотник от машины CORLISS Фарко	Налит на толстый конец слой в 1 1/4'' и залиты концы прол. на тонк.	2 22
№ 3 (рис. 3)	Механическая фабрика Пермских пушечных заводов	Зубчатое колесо от строкит. станка	Прилито восемь зубцов	3 34
№ 4 (рис. 4)	—	Поршень холодильника от строящегося парохода для г. Мешкова	Залиты две раковины	5 —
№ 5 (рис. 5)	Пудлингово-прокатная фабрика Пермских пушечных заводов	Эксцентр от машины мелкосортного стана	Залита трещина и прилит выломленный край	— 30
№ 6 (рис. 6)	Механик г. Пирсон	Кулиса от типографского станка из типографии Каменского в г. Перми	Была сломана на две части, слита в трех местах с сохран. размеров	1 24
№ 7 (рис. 7)	Механическая фабрика Пермских пушечных заводов	Кулиса от машины парохода для г. Мешкова	Залита недостающая часть (углубление) на шейке	8 34
№ 8 (рис. 8)	Механическая фабрика Пермских пушечных заводов	Поршневая пружина от машины парохода г. Мешкова	Залито рыхлое место	6 —
№ 9 (рис. 9)	Котельная фабрики Пермских пушечных заводов	Пистон от донки	Залита сквозная дыра	1 —
№ 10 (рис. 10)	Механическая фабрика	Валик чугунный с шестерней и зубчатым колесом от токарного станка	Прилито четыре зуба и часть выломленного обода	— 20

Рис. 2.12. Выписка из «Ведомости о работах, произведённых с помощью электрической отливки горного инж. Славянова в Пермских Пушечных заводах» [7]

Способ Славянова получил диплом первой степени и золотую медаль на Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году за удивительный экспонат из России – металлический двенадцатигранный стакан высотой 210 мм (рис. 2.13). Николай Гаврилович наварил на сталь один за другим электроды из бронзы, томпака (сплав меди с цинком), никеля, стали, чугуна, нейзильбера (сплав меди с цинком и никелем).



*Рис. 2.13. Металлический двенадцатигранный стакан. Экспонат на Всемирную выставку в г. Чикаго (Америка) [8]*

Сделанный из этой многослойной заготовки стакан массой 5330 граммов представлял сразу всю гамму конструкционных металлов того времени.

Большое внимание Н.Г. Славянов уделял механизации и автоматизации дуговой сварки. Он изготовил и опробовал первый в мире сварочный полуавтомат, элементы которого использованы и в современных автоматических сварочных головках. Постоянство длины дуги в определённых пределах оплавления электрода поддерживалось двумя соленоидами, втягивающими железный сердечник и обеспечивающими автоматическую подачу электрода.

Внимание, которое Н.Г. Славянов придавал проблеме автоматического регулирования длины сварочной дуги, свидетельствует о его блестящей технической прозорливости: он предвосхитил применение механизмов для регулирования длины электрической дуги, имеющих большое значение и в современной технике автоматической сварки.

В 1891 году Н.Г. Славянов запатентовал своё изобретение во Франции, Германии, Великобритании, Австро-Венгрии, Бельгии, а в 1897 году – в США.

Изобретения Бенардоса и Славянова нашли заметное применение по тем временам в первую очередь на железных дорогах, а затем на нескольких крупных машиностроительных и металлургических заводах.

Вопросы, связанные с развитием и применением дуговой сварки, неоднократно заслушивались и обсуждались на съездах инженеров службы подвижного состава и тяги.

Впервые дуговую сварку на железнодорожном транспорте начали применять в 1887–1888 гг. на Козловско-Воронежско-Ростовской железной дороге (в Воронежских паровозных мастерских) и на Орловско-Витебской железной дороге (в Рославльских паровозных мастерских) при исправлении дефектов паровозных и вагонных колес, паровозных рам, при соединении концов дымогарных труб и трубных решеток, паровозных котлов, цилиндров, золотников и т. д., а затем в мастерских Владикавказской железной дороги в Ростове-на-Дону [2].

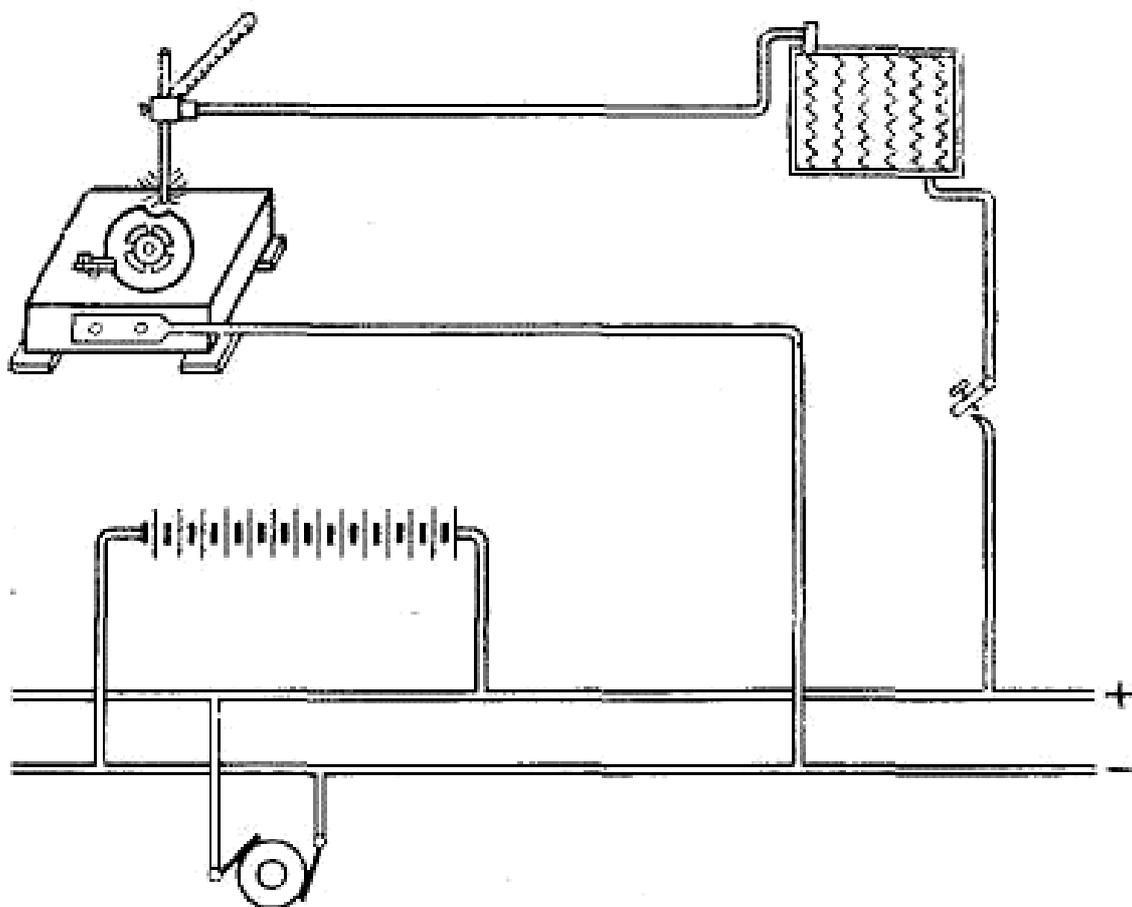
В начальный период дуговую сварку применяли для ремонта простых изделий, обычно наплавливали изношенные поверхности и заваривали трещины. Дальнейшее усовершенствование технологии сварки позволило применять ее для более ответственных работ. С помощью сварки ремонтировали паровозные цилиндры, рамы, изготовленные из проката, вагонные колеса. Заваривали трещины в бронзовых золотниках и в перемычках между отверстиями дымогарных решеток, наплавливали шейки паровозных и вагонных осей и пр.

На Коломенском машиностроительном заводе «Электрогефест» применяли для сварки труб, резервуаров пневматических тормозов, керосиновых бачков и для ремонта чугунных изделий. На Невском машиностроительном заводе в Петербурге при помощи сварки исправляли стальное и чугунное литье и выполняли наплавочные работы.

По способу Славянова успешно сваривали чугун и бронзу, стальные детали значительного сечения и ремонтировали всевозможные изделия: стальные коленчатые валы, паровые цилиндры, станины паровых молотов, рамы паровозов и паровых машин, зубчатые колеса, золотниковые коробки, штоки паровых молотов, паровые цилиндры насосов и воздуходувных машин, ножницы для резки металла, части прессов, якоря речных судов, судовые рули, рамы штурвалов и т. д. Качество сварочных работ находилось на высоком уровне, что подтверждается актами, подписанными представителями заказчиков и другими лицами.

В 1897 г. по проекту Славянова сооружена крупная промышленная установка дуговой сварки на сталелитейном и машиностроительном за-

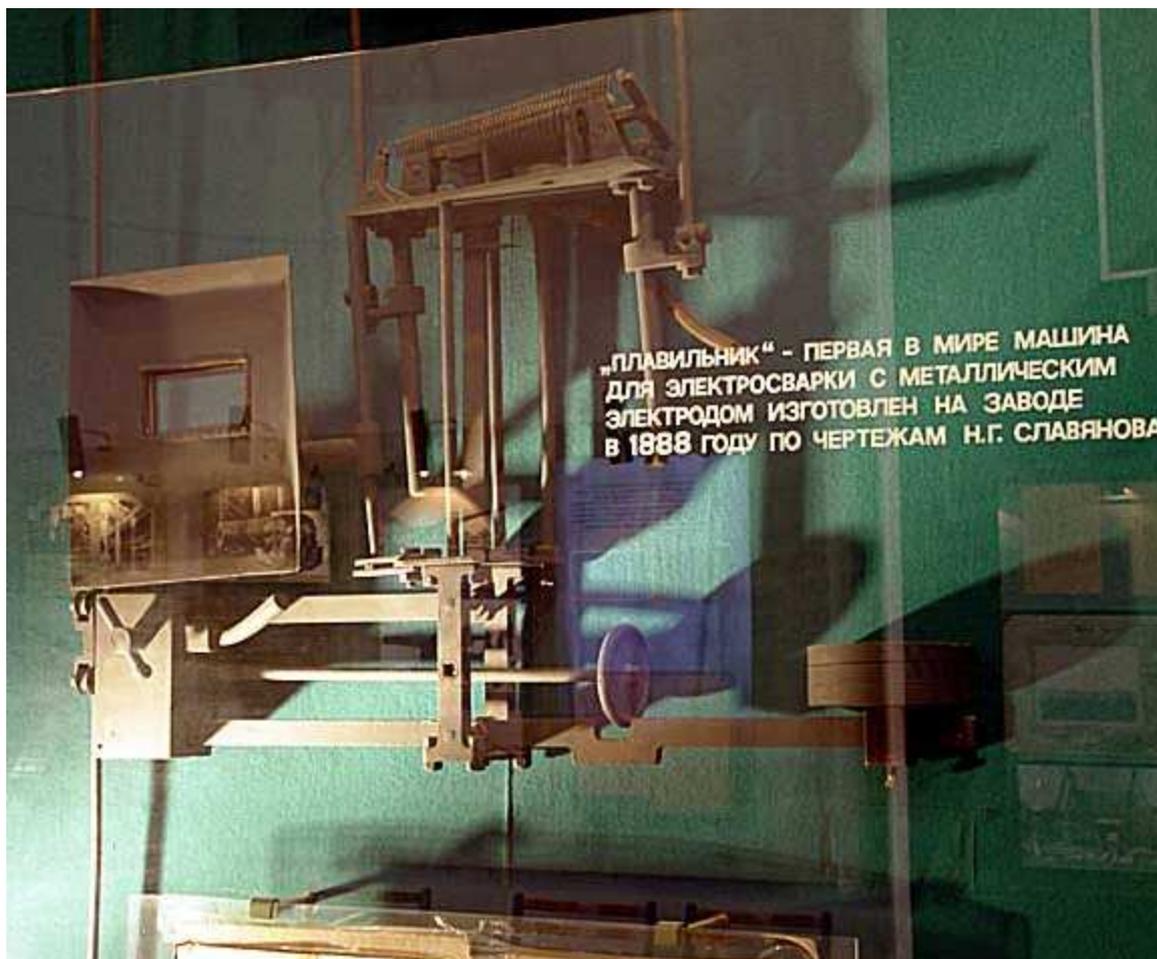
воде в Екатеринославе (ныне Днепропетровск) (рис. 2.14–2.15). Сварку применяли для исправления поверхностных дефектов стальных отливок (в вагонных, тендерных и паровозных центрах колесных скатов). Эта установка имела большое значение для развития промышленного применения дуговой сварки в России и в других странах. В технических кругах зарубежных стран в тот период этот способ сварки был малоизвестен. Поэтому статья инженера Я.Л. Франкфурта, принимавшего участие в монтаже и эксплуатации Екатеринославской установки, в одном из французских журналов вызвала большой интерес среди промышленных кругов многих европейских стран [2] [4].



*Рис. 2.14. Схема одной из первых в мире, крупных промышленных установок дуговой сварки, сооруженной в 1897 г. по проекту Н.Г. Славянова на сталелитейном и машиностроительном заводе в Екатеринославе (Днепропетровске)*

В конце XIX в. установки «электрической отливки» металлов Славянова работали на заводе общества пароходства и торговли в Севастополе, на Луганском, Златоустовском, Сорновском и Ижевском заводах, в Одесских и Кронштадтских портовых мастерских. Для сварки по спо-

собу Славянова, требовавшей значительных сил тока, часто применяли импортные электрические генераторы.



*Рис. 2.15. «Плавильник» – первая в мире машина для электросварки с металлическим электродом. Изготовлен на заводе в 1888 г. по чертежам Н.Г. Славянова [9]*

В конце XIX в. установки «электрической отливки» металлов Славянова работали на заводе общества пароходства и торговли в Севастополе, на Луганском, Златоустовском, Сормовском и Ижевском заводах, в Одесских и Кронштадтских портовых мастерских. Для сварки по способу Славянова, требовавшей значительных сил тока, часто применяли импортные электрические генераторы.

Особо следует отметить работы электросварочной мастерской при Одесских головных мастерских Юго-Западных железных дорог, организованной в 1898 г. Д.А. Дульчевским<sup>22</sup>. Здесь из года в год возрастал объем сварочных работ, совершенствовался технологический процесс сварки, вводилось более совершенное сварочное оборудование. В зависимости от потребностей применяли способы сварки Н.Н. Бенардоса

и Н.Г. Славянова. Кроме ремонта, в ряде случаев дуговая сварка применялась для изготовления новых изделий. Например, в Одесских мастерских изготавливали резервуары тормозов Вестингауза, стальные бочки и т. д. Эта электросварочная мастерская была в стране образцовой. За большие успехи в применении дуговой сварки и совершенствование технологического процесса на Всероссийской промышленной выставке в Одессе в 1910 г. Одесские железнодорожные мастерские были удостоены высшей награды – золотой медали с надписью «За умелое применение электросварки» [2].

Позднее дуговая сварка успешно применялась во многих ремонтных железнодорожных мастерских (Конотопских, Двинских и др.) для разнообразных работ, а также на ряде заводов, в частности на Петербургском Александровском заводе Николаевской железной дороги (теперь Пролетарский завод), где сваркой руководил весьма квалифицированный специалист – инженер В.М. Кондратьев. В 1904 г. моряки русского флота и рабочие Балтийского судоремонтного завода, находившиеся в осажденном Порт-Артуре, успешно применяли дуговую сварку угольным электродом для соединения и резки металлических частей при ремонте повреждений корпусов кораблей «Севастополь», «Ретвизан», «Цесаревич», полученных в боях с японским флотом. При этих работах источниками питания дуги являлись корабельные генераторы.

В России дальнейшее развитие нового технологического процесса электродуговой сварки столкнулось с существенными трудностями: электротехническая промышленность страны была очень слабой. Применение электросварки постепенно сокращалось.

В то же время необходимо отметить, что новый технологический процесс. Предложенный Славяновым, не всегда обеспечивал высокое качество соединений, так как плавление стали в дуговом разряде сопровождалось выгоранием углерода, марганца и кремния, при этом сварной шов мог насыщаться кислородом, азотом и водородом. Сварка применялась при изготовлении второстепенных металлоконструкций и неотвечественных изделий. Сварку поддерживали только отдельные энтузиасты. Удачно найденные решения внедрялись в практику, развивались, служили очередной ступенькой для дальнейшего подъема сварочного производства [2] [4].

#### **2.4. Разработка и развитие дуговой сварки покрытыми электродами**

Новый путь развития дуговой сварки открыл Оскар Кьельберг<sup>23</sup>. В 1904 г. О. Кьельберг основывает фирму «ЭСАБ» («ESAB») по производству главным образом электротехнического оборудования для судо-

строения, которая в настоящее время известна сварщикам всего мира высококачественным сварочным оборудованием, материалами и технологиями. Начинаются его исследования по сварке, в результате которых в 1907 г. был создан плавящийся электрод в виде отрезка проволоки, покрытого с помощью клея порошком силикатов [1].

Так изобретатель хотел предотвратить стекание электродного металла при сварке швов в потолочном положении, но дополнительно обнаружил, что улучшается и защита зоны сварки. Поэтому в патенте сказано, что цель покрытия – «защитить расплавленный металл от кислорода и азота воздуха и обеспечить надлежащие физические и химические свойства шва, а также сделать возможной сварку во всех пространственных положениях».

Непокрытым оставался только один конец, который вставлялся в электрододержатель и торец электрода на другом конце, которым зажигали дугу. Однако «защита» была очень слабая. Расплавленные силикаты обволакивали конец электрода, но поверхность капель металла не полностью покрывалась шлаком. Компоненты воздуха – азот и кислород – могли контактировать и взаимодействовать с металлом. Несмотря на это, качество металла удалось улучшить.

Существенно улучшил электродное покрытие англичанин А. Стромменгер в 1911 г. Он предложил обматывать металлический стержень асбестовым шнуром, пропитанным силикатом натрия (жидким стеклом). Тонкая алюминиевая проволока наматывалась поверх покрытия. Шлака от такого покрытия образовывалось столько, что обеспечивалась достаточно надежная защита и образующихся капель металла и сварочной ванны. Алюминий выступал в роли раскислителя и обеспечивал удаление кислорода. Под названием «Квази-арк» эти электроды распространились по Европе и Америке.

В 1917 г. английский инженер С. Джонс получил патент, по которому на оплетку из асбеста или другого непроводящего материала наносилась специальная паста, состоящая из шлака и связующего (жидкого стекла).

Разработчики обратили внимание и на материал электродного стержня. В 1917 г. в Америке выпускали 8 типов специализированных электродов, отличающиеся друг от друга маркой стали, из которой изготовлен электрод.

В этом же году американские ученые О. Андрус и Д. Стреса изобрели новый тип электрода. Стальной стержень был обернут полосой бумаги, приклеенной силикатом натрия. Бумага при горении электрода давала дым, который оттеснял воздух из зоны сварки. Обнаружилось еще одно интересное свойство покрытия – дуга зажигалась сразу, с пер-

вого касания, и не гасла при удлинении. Сказалось присутствие в обмазке натрия.

В 1925 г. англичанин А.О. Смит несколько изменил конструкцию штучного электрода: на бумагу с помощью жидкого стекла наносились порошкообразные компоненты, улучшающие защиту и легирующие металл шва. По мере добавления различных компонентов покрытие становилось толще, а качество наплавленного металла – лучше. В этом же году французские изобретатели О. Са-разен и О. Монеyron разработали покрытие, которое толстым слоем наносилось на металлический стержень. Компонентами в рецепте покрытия стали соединения щелочных и щелочноземельных металлов: полевой шпат, мел, мрамор, сода. Элементы (калий, натрий и кальций) обладают низким потенциалом ионизации, что обеспечивает легкое возбуждение дуги и поддержание ее горения.

В октябре 1914 г. С. Джонсу был выдан британский патент на метод получения электрода, покрытие которого наносилось методом опрессовки. Металлический стержень проталкивался через фильеру одновременно с шихтой, ложившейся на стержень.

Таким образом, за первую четверть XX в. были разработаны конструкции плавящихся электродов для ручной дуговой сварки, методы их изготовления, обоснован состав покрытия. К концу 20-х годов прошлого века электроды с обмазкой содержали специальные компоненты: – газообразующие – оттесняющие воздух из зоны сварки; – легирующие – улучшающие состав и структуру металла шва; – шлакообразующие – защищающие расплавленный и кристаллизующийся металл от взаимодействия с газовой фазой; – стабилизирующие – вещества с низким потенциалом ионизации. Изменяя состав компонентов покрытия, можно было получать электроды со специальными свойствами. Судьба дуговой сварки зависела также от решения проблемы источника питания.

Первый специализированный источник питания для сварки был разработан Н.Н. Бенардосом. Его сварочный аккумулятор нашел применение во многих странах мира, проработав на отдельных предприятиях до 30-х годов XX в. Однако эксплуатация аккумуляторов представляла серьезные трудности, вызванные вредными условиями труда, необходимостью систематической зарядки, невозможностью транспортировки. Сварочный генератор Н.Г. Славянова упростил уход за источником питания. Однако для обеспечения стабильности горения дуги пришлось оставить в цепи буферную аккумуляторную батарею, сглаживающую пики токов. Развитие сварки и электротехники привело к тому, что в первом десятилетии XX в. в Германии и США начали выпускать специальные сварочные генераторы.

В 1907 г. первый генератор с регулируемым напряжением был выпущен на заводе «Линкольн электрик». В том же году другая американская фирма «Си-Си электрик» наладила производство моторгенераторов. В 1909 г. генератор постоянного тока создал американский промышленник и изобретатель Дж. Вестингауз<sup>24</sup>, а фирма «Дженерал электрик» стала выпускать моторгенераторы.

Между тем электротехника в развитых странах мира уже осваивала переменный ток. Его применение сулило большие выгоды, в первую очередь за счет упрощения конструкции источников питания.

Однако природа переменного электрического тока вроде бы была несовместима с природой дуги, которая мгновенно исчезает при нулевом значении тока. Одним из первых, кто предложил решение этой проблемы, был известный российский электротехник академик В.Ф. Миткевич<sup>25</sup>. В 1905 г. в работе «О вольтовой дуге» он обосновал возможность применения для сварки переменного тока, в том числе и трехфазного. При питании сварочной дуги переменным током новый потенциал между электродами должен подаваться раньше, чем распадется плазма. В связи с этим скорость нарастания напряжения источника питания должна быть больше, чем скорость деионизации дугового промежутка. Предложенные им схемы легли в основу сварки на переменном токе.

Еще в 1920-х гг. в США и Германии было много противников применения переменного тока для дуговой сварки. Основными аргументами были низкое качество сварного соединения и трудность поддержания горения дуги. Тем не менее, совершенствование и распространение электродов с качественным покрытием для сварки на переменном токе постепенно завоевывало все больше сторонников. К тому времени были разработаны штучные электроды с обмазкой, в состав которой входили вещества с низким потенциалом ионизации (калий, натрий, кальций и др.), что облегчало возбуждение и поддержание дугового разряда.

Первые трансформаторы для дуговой сварки на переменном токе были выпущены в 1923 г. фирмой «Веко», сначала небольшой мощности, а спустя два года – на силу тока до 1000 А при напряжении 90 В. Причем такой трансформатор можно было подключать к сетям напряжением от 110 до 500 В. В середине 1920-х гг. получили распространение также сварочные машины переменного тока фирм «Сименс-Шуккерт», АЭГ (Германия) и др. [10].

Применение переменного тока для дуговой сварки угольным электродом не представляло трудностей. Однако сварка плавящимся электродом стала возможной только при нанесении на металлический стержень легко ионизирующихся элементов.

В 1928 г. в составе сварочного оборудования промышленно развитых стран уже было несколько моделей трех- и однофазных трансформаторов, трансформаторов с катушками индуктивности и др. Совершенствованием сварочных машин занимались фирмы «Эллой велдинг просессиз», «Аркос», «Парсонс-Мюрекс» (США), «Инглиш электрик» (Стаффорд), «Премьер электрик велдинг» (Великобритания), «Сименс-Шуккерт» (Германия) и др. [10]

В нашей стране в эти же годы работы по обеспечению развития дуговой сварки были поставлены на промышленную основу. В 1928 г. на заводе им. Г.И. Петровского (г. Днепропетровск) серийно стали выпускать покрытые электроды для сварки. К концу тридцатых годов были сформулированы принципы регулирования тока в сварочных трансформаторах, которые были воплощены в различных конструкциях источников питания:

- с несколькими выводами;
- с магнитным шунтом;
- с регулируемым воздушным зазором.

Выпуск этого оборудования стал производиться серийно на заводе «Электрик», история которого началась в 1896 г. Именно в это время в г. Санкт-Петербурге на Аптекарском острове Петроградской стороны акционерным обществом «Дюфлонн Константинович» был построен «Завод электромеханических сооружений». В ноябре 1922 г. завод получил современное название.

С началом индустриализации нашей страны роль электросварки проявилась в полном объеме. Без неё не удалось бы невиданными темпами построить Магнитку, Кузнецк, Днепрогэс. В эти годы учёный, специалист в области мостостроения академик Евгений Оскарович Патон<sup>26</sup> сумел оценить всё, что может дать сварка. Он организовал в Киеве при Академии наук УССР лабораторию, поставившую перед собой ясную и чёткую цель широкого применения электросварки вместо клёпки в самых различных отраслях промышленности. В январе 1934 года на базе этой электросварочной лаборатории был создан Институт электросварки, который в настоящее время носит имя его организатора – Е.О. Патона [10].

В тридцатые годы прошлого века ручная дуговая сварка покрытыми электродами внедрялась в производство металлоконструкций. Котлы и корабли, каркасы зданий и детали мостов, автомобили и вагоны и пр. – диапазон сварных конструкций пополнялся и, казалось, ничто уже не прервёт наступление сварки. Но чем шире внедрялась дуговая сварка, тем чаще возникали отрицательные эффекты, которые настораживали производителей и эксплуатационников, вызывая с их стороны за-

прет на применение нового технологического процесса. В 1938–1939 годах в Западной Европе неожиданно обрушилось несколько мостов. Балки мостов были сварными. Чаще всего этому предшествовало резкое понижение температуры воздуха. Во время аварии мосты не подвергались никакой нагрузке. В этот период тысячи железнодорожных вагонов в России и других странах были сняты с эксплуатации из-за трещин в сварных рамах и тележках. Трещины в швах и околошовной зоне, напряжения и деформации целых конструкций, изменяющееся труднопредсказуемое качество при изменении сварочных материалов, ограниченность материалов, их толщин и типов соединений, которые можно сваривать – вот неполный перечень проблем, которые требовали научных решений. Но сварочная наука тогда еще не сформировалась, а рекомендации и выводы отдельных ученых не всегда принимались во внимание [2].

В большинстве исследовательских и заводских лабораторий изучали преимущественно механические свойства сварных соединений из низкоуглеродистых сталей, которые характеризовались удовлетворительными значениями предела прочности – 320–400 МПа. Пластические свойства металла шва в сварных соединениях были невысокими: углы загиба при разрушении не превышали 30–35°, а ударная вязкость металла сварных швов при низких и высоких температурах – 100 кДж/м<sup>2</sup>. По результатам ряда экспериментов было установлено отрицательное влияние на механические свойства сварных соединений проведения сварки при отрицательных температурах.

Стало очевидным, что дальнейшее развитие сварки и полная победа новой технологии зависят от науки. В СССР и за рубежом стали создаваться сварочные научные центры, в которых начались всесторонние исследования по влиянию различных параметров сварочного процесса на состав и свойства металла шва и околошовной зоны, позволившие найти способы управлять качеством сварного соединения.

Первой по времени возникновения в нашей стране сложилась научная школа В.П. Вологодина<sup>27</sup> [2].

Диапазон интересов одного из основоположников сварочной науки был необычайно широк. В лаборатории сварки Дальневосточного университета В.П. Вологдиным и его учениками были разработаны вопросы, относящиеся к технологии дуговой сварки, деформациям и напряжениям металла при сварке, среди которых можно отметить:

- определение коэффициентов прочности сварных соединений;
- изучение влияния пространственного положения деталей при сварке на прочность шва;
- разработку системы обозначений сварных швов на чертежах;

- разработку методов расчета сварочных деформаций и напряжений;
- введение важнейших объективных показателей видов сварки плавлением – «коэффициента наплавки» и «коэффициента расплавления».

В 1929 г. исследования сварных соединений и конструкций были развернуты под руководством Г.А. Николаева<sup>28</sup> в Москве и Е.О. Патона в Киеве. Этот год можно считать знаменательным в становлении сварочной науки в нашей стране. В Москве организуется автогенно-сварочный техникум, который вскоре был преобразован в учебный комбинат, положивший начало сварочным кафедрам в МВТУ им. Н.Э. Баумана. В Киеве при Академии наук создается электросварочная лаборатория. Ее организатором и руководителем был крупный инженер и ученый в области мостостроения академик Е.О. Патон. В 1934 г. электросварочная лаборатория была преобразована в первый в мире научно-исследовательский институт, который занимался только вопросами сварки – Институт электросварки АН УССР. В 1929 г. Е.О. Патон начинает заниматься вопросами электросварки. Всю оставшуюся жизнь он посвятил разработке научных основ сварки, внедрению ее в промышленность [1].

Первые исследовательские работы касались вопросов прочности сварных соединений и конструкций. Е.О. Патону и его сотрудникам удалось установить условия применения электросварки при изготовлении конструкций, испытывающих не только статические, но и динамические нагрузки. Значительный интерес представляли исследования статической и вибрационной прочности сварных конструкций.

Одними из первых ученые института изучили процессы плавления основного и электродного металлов, тепловой баланс при сварке открытой дугой, а также основные вопросы металлургии сварки и свариваемости низколегированных сталей. В начале тридцатых годов были опубликованы работы Г.А. Николаева о влиянии сварочных напряжений и деформаций на работоспособность ответственных сварных конструкций. Именно Г.А. Николаев является одним из основателей науки о прочности сварных конструкций [2].

Его глубокие исследования собственных напряжений и деформаций сварных конструкций явились основой для ряда новых направлений в науке о сварке и послужили теоретической и практической базой для широкого внедрения сварки в различные отрасли хозяйства. При его участии были созданы первые сварные железнодорожные мосты. В период Великой Отечественной войны Г.А. Николаев внес большой вклад в применение сварки при производстве вооружения. С именем Г.А. Ни-

колаева связан ряд успешных работ по сварке в вакууме, ультразвуковой сварке и резке неметаллических материалов.

В эти же годы начала формироваться уральская школа сварщиков, у истоков создания которой стоял Г.П. Михайлов<sup>29</sup>. В 1927–28 гг. Г.П. Михайлов руководит строительством нового мартеновского цеха Пермского пушечного завода, применяя сварку при изготовлении металлоконструкций. В их изготовлении электродуговая сварка тогда почти не применялась. Не было методов расчета на прочность, технологий изготовления [2].

В середине 1928 г. он был переведен на строительство Уралмашзавода, где возглавил отдел по проектированию, производству металлических конструкций и возведению металлических сооружений. Опыт, полученный им на заводе, где Н.Г. Славянов создавал электродуговую сварку, пригодился и здесь. В 1930 г. были спроектированы и изготовлены первые сварные межэтажные перекрытия. Они представляли собой смесь элементов, которые в настоящее время считаются традиционными для подобного типа конструкций (пояса, раскосы, косынки и т. д.), и большого числа дополнительных крепежных элементов.

По мере изготовления и эксплуатации ферм число дополнительного крепежа уменьшалось, что оптимизировало и внешний вид, и технологию изготовления. Вскоре для строящегося завода были изготовлены мачты для прожекторов высотой 24 м, дымовые трубы высотой до 40 м, подкрановые балки для кранов грузоподъемностью 50 т длиной пролета 10 м, смонтирован сварной газопровод протяженностью 3 км. Исследования, выполненные В.П. Вологдиным, Е.О. Патонем, Г.А. Николаевым и другими специалистами по применению сварки при изготовлении металлических конструкций, дали положительные результаты.

Внедрение электросварки в производство металлических конструкций происходило на основе разработанных рекомендаций по итогам исследований. Впервые веское слово сказала сварочная наука. В дальнейшем будут изучены свойства сварочного дугового разряда, его электроэнергетические особенности и процессы превращения электрической энергии в тепловую. Получат объяснение процессы распространения теплоты в металле от концентрированного дугового источника, возникновения напряжений и деформаций в сварных конструкциях. Станут понятными закономерности при плавлении, взаимодействии и затвердевании фаз при сварке.

Появится специальный раздел металловедения, изучающий структурные превращения металла шва и околошовной зоны.

Все это станет не только фундаментом разработки приемов улучшения качества сварных соединений, полученных ручной дуговой сваркой, но и предпосылками создания новых способов [2] [4].

## **2.5. Разработка и развитие сварки под флюсом**

Идея этого способа сварки появилась не на пустом месте. Еще Н.Г. Славянов применял для защиты расплавленного металла от воздействия воздуха битое стекло. В 1927 г. известный изобретатель Д.С. Дульчевский, работавший в Одесских железнодорожных мастерских, разработал свой первый автомат для сварки под флюсом.

Над проблемой дуговой сварки голым электродом с отдельной подачей флюса к дуге работали как в нашей стране, так и за рубежом. В начале 30-х годов прошлого века в США был построен завод по производству сварных труб с помощью автоматической дуговой сварки с использованием флюсов. В 1934 г. фирма «Дженерал электрик» использовала для автоматической сварки голой проволокой флюс, предложенный В. Миллером и состоящий из полевого шпата и диоксида титана. Измельченные в порошок компоненты смачивали водой и в виде пасты наносили на изделие перед сваркой. В 1936 г. был получен патент на способ автоматической дуговой сварки под флюсом под названием «Юнионмелт» [1].

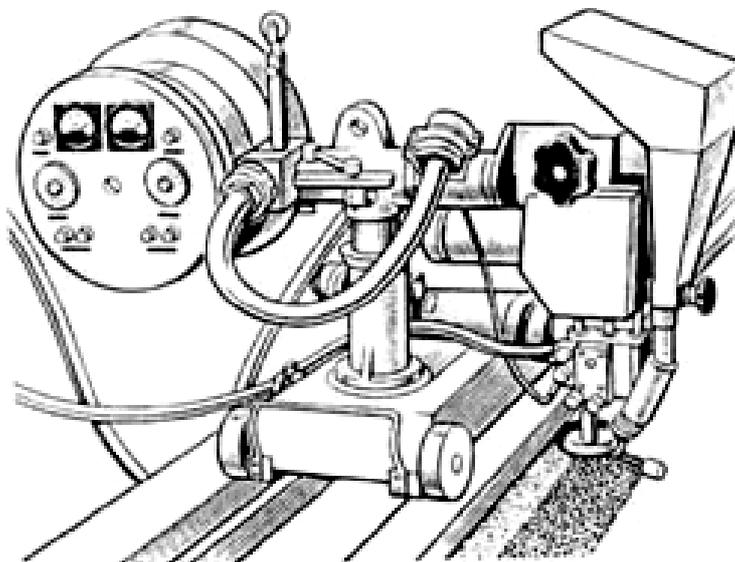
Этим способом сваривали стальные листы толщиной до нескольких десятков миллиметров со скоростью до 10 м/ч. В 1939–1940 гг. коллективом Института электросварки под руководством и при непосредственном участии Е.О. Патона на основе идей, выдвинутых еще Н.Г. Славяновым, был разработан отечественный способ механизированной сварки, получивший тогда название «скоростная автоматическая сварка голым электродом под слоем флюса». Впервые этот способ соединения металлов был продемонстрирован в лаборатории Института электросварки в июле 1940 г. Был сварен стыковой шов металла толщиной 13 мм за один проход с неслыханной для того времени скоростью 32 м/ч, что во много раз превышало скорость ручной сварки.

С началом Великой Отечественной войны был эвакуирован в Нижний Тагил и размещен на территории Уралвагонзавода Институт электросварки, возглавляемый Е.О. Патонем. На территорию того же предприятия был перебазирован и Харьковский завод № 183 им. Коминтерна. В конструкторском бюро последнего и был спроектирован лучший средний танк Второй мировой войны – Т-34, а в цехах – налажено его производство.

Одновременно с разработкой технологии были спроектированы и изготовлены две установки для сварки борта корпуса танка Т-34 с подкрылком. В январе 1942 г., был сварен первый опытный образец. Технология и оборудование прошли успешную апробацию. Тем не менее, производственники сначала отнеслись к автоматической сварке с недоверием. Только после настойчивых требований Е.О. Патона на участок, где были смонтированы автоматы, стали подавать заготовки корпусов – броневые плиты. Производительность автоматической сварки оказалась в 10 раз выше, чем ручной (башни танка были литыми) [10].

Конструкторская группа ИЭС подготовила 20 проектов специализированных установок для автоматической сварки различных типов швов на танках и 8 – для сварки авиабомб и боеприпасов. Сварочные головки, изготавливаемые в мастерских института, начали внедрять и на других заводах.

При сварке закрытой дугой были механизированы практически все сварочные операции: возбуждение дуги, поддержание заданного режима горения и перемещения дуги вдоль кромок, заварка кратера при окончании процесса, подача проволоки в зону сварки и перемещение аппарата или изделия в соответствующем направлении (рис. 2.16).



*Рис. 2.16. Сварочный трактор АДС-1000-2 выпуска 1952 г.*

Создание данного способа сварки потребовало разработки оборудования принципиально нового типа. Была создана аппаратура для подачи флюса в зону сварки, удержания его на месте сварки, сбора неиспользованного флюса для его повторного использования. Кроме специальных источников питания, обладающих требуемыми сварочно-

технологическими характеристиками, можно выделить аппараты для сварки: сварочные трактора и самоходные головки, которые, как минимум, обеспечивали возбуждение дуги в начале процесса, поддержание ее горения во время сварки и заварку кратера в конце шва.

Характерным для отечественного оборудования является широкое использование механизмов с постоянной скоростью подачи электрода и скоростью сварки.

Однако первоначально для поддержания постоянной длины дуги использовали более сложные двухдвигательные конструкции подающих механизмов и соответствующие схемы управления. В 1942 г. В.И. Дятлов, старший научный сотрудник Института электросварки (работавший в то время заведующим лабораторией на Уралмашзаводе), открыл явление саморегулирования мощной электрической дуги [1].

Было замечено, что имеется зависимость между электрическими параметрами режима (током и напряжением) и скоростью подачи проволоки. Причем их оптимальное соотношение устанавливается без специального регулирования источника питания. При этом изменяется и расход энергии на плавление металла и флюса.

Например, если напряжение увеличивалось, то расход теплоты на плавление электродного металла уменьшался, и электрод плавился медленнее. Получалось, что скорость подачи опережает скорость плавления электрода, стремясь восстановить прежнюю длину дуги. Сварочные головки нового типа комплектовались асинхронными двигателями с неизменной частотой вращения. Для изменения скорости подачи электрода применили одноступенчатый редуктор со сменными шестернями.

Значительно упростилась схема управления аппаратом. Проводя исследования, В.И. Дятлов пришел к выводу, что саморегулирование процесса нарушается при использовании источника питания с крутопадающей внешней характеристикой, а также при малых плотностях тока на электроде. В связи с этим им предложено использовать для автоматической дуговой сварки генераторы постоянного тока с жесткой внешней характеристикой. Еще одно направление в развитии конструкций сварочных головок было создано коллективом ученых Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ): для плавного регулирования скорости подачи проволоки использована фрикционная передача, а для сварки угловых швов предусмотрена возможность наклона головки [1].

В эти же годы разработаны и основные схемы компоновки головок и транспортирующих механизмов, которые применяются и в настоящее время (рис. 2.17 и 2.18):

- крепление головки на самоходной тележке, перемещающейся по направляющим балкам;
- крепление головки на неподвижной или движущейся по рельсам колонне;
- установка головки на тележке, перемещающейся непосредственно по поверхности изделия – такие аппараты получили название сварочных тракторов.



*Рис. 2.17. Автоматическая сварка под флюсом плоскостных конструкций трактором ТС-17*



*Рис. 2.18. Автомат для сварки наружных кольцевых швов*

Производительность автоматической сварки не шла ни в какое сравнение с производительностью других способов сварки. Например, на приварке днища подкрылка к борту двумя мощными швами длиной более 5 м квалифицированный сварщик работал около 20 ч. Подросток, после 5–10 дней обучения, мог сварить автоматом этот шов за 2 ч. Сектор погона башни вручную сваривали за 5 ч, а с помощью автомата эту операцию производили за 49 мин.; сварка носов длилась вместо 7,3 только 1,4 ч и т. д. Полезный съём продукции с единицы производственной площади увеличился в несколько раз. Ввод одной установки освобождал семь сварочных трансформаторов и восемь дросселей-регуляторов. Заводы экономили до 42 % электроэнергии.

В 1943 г. ИЭС установил на заводах Наркомата танковой промышленности около 50 аппаратов для автоматической сварки. В Нижнем Тагиле начала работать поточная линия по производству бронекорпусов со специальными сварочными установками, основой которых были автоматы. Уже тогда были созданы конструкции аппаратов для выполнения всех основных типов соединений, встречающихся в машиностроении: станки-автоматы карусельного типа для круговых швов, самоходные головки для сварки продольных швов небольшой длины. Пуск поточной линии позволил высвободить 280 квалифицированных рабочих [10].

Следующим шагом в развитии сварочной аппаратуры стало создание сварочных тракторов – облегченных сварочных головок, смонтированных на самоходных тележках. Первый такой аппарат был разработан в ИЭС в 1944 г. (Б.Е. Патон<sup>30</sup> и П.И. Севбо). Изменение принципа перемещения сразу же значительно расширило область применения автоматической сварки под флюсом. Трактор позволял сваривать швы, практически ограничиваемые только длиной кабелей питания и управления. В послевоенные годы этими аппаратами начали сваривать конструкции корпусов судов, элементы резервуаров, трубы, балки мостов и др. Тогда же была создана первая конструкция полуавтомата, обеспечивающая подачу электродной проволоки через держатель, перемещаемый вручную (Б.Е. Патон); разработан сварочный пистолет для приварки шпилек диаметром до 12 мм под флюсом в вертикальном и потолочном положении (Н.Г. Остапенко) [10].

По известным к середине 30-х гг. прошлого века сведениям следовало, что применение флюса помогает решить ряд задач получения качественного сварного соединения. Он должен был не только прикрыть жидкий металл ванны от воздуха, но и обеспечить введение в строго определенном количестве дополнительных легирующих элементов в металл шва, связать и перевести в шлак вредные примеси (серу и фосфор). Флюс, а после расплавления шлак, должен быстро и активно вза-

имодействовать с жидким металлом ванны и каплями электродного металла и также быстро покидать металлическую ванну, как только необходимые металлургические реакции будут завершены. Шлак после охлаждения должен легко отделяться от шва.

Методом проб и ошибок, применяя термодинамические законы, открытые американским ученым Дж.У. Гиббсом<sup>31</sup>, удалось создать способы расчета состава флюса, который обеспечивал получение высококачественного шва с заранее рассчитанным составом.

Одним из основоположников данного направления сварочной науки – металлургии сварки – является В.И. Дятлов. Эксперименты начинались с применения бутылочного стекла, которое ученые дробили, просеивали и отбирали гранулы размером в поперечнике 1–4 мм. Их подавали в зону сварки. Результаты этих опытов показали принципиальную возможность защиты ванны.

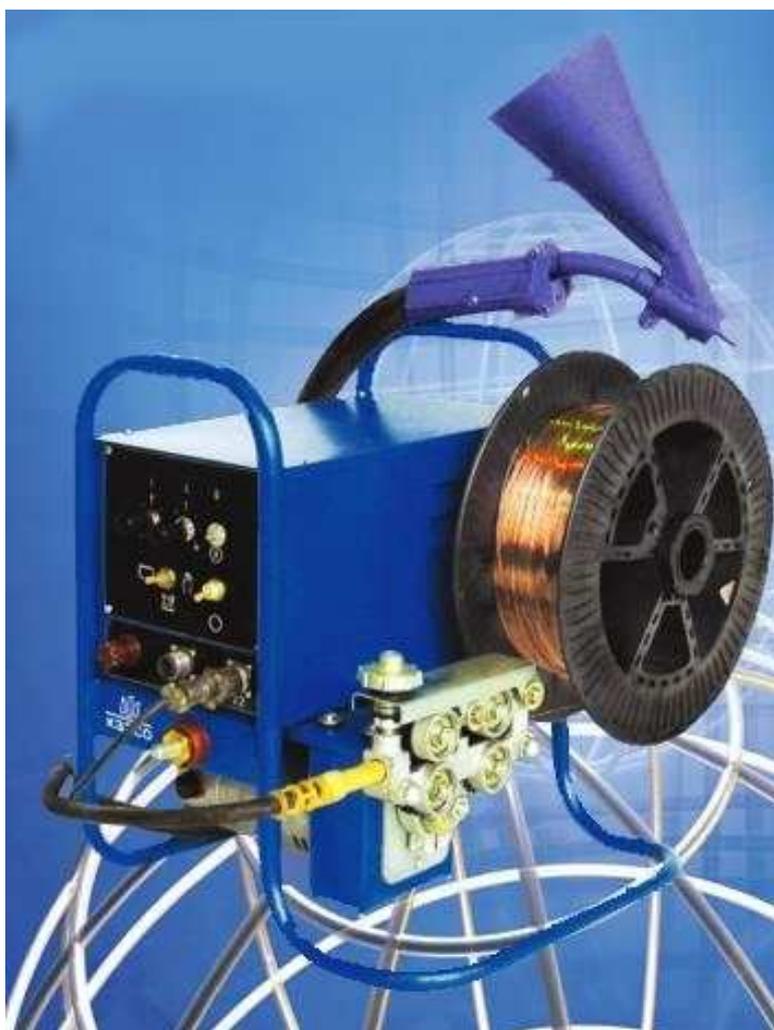
Дальнейшие исследования показали, что в шихту, из которой выплавляется флюс, необходимо вводить много различных компонентов, а в качестве исходного сырья можно использовать природные минералы (мел, рутил, плавиковый шпат, мрамор, железную руду и т. д.). При плавлении в печах из исходных компонентов образовывались новые соединения, обеспечивающие быстрое протекание металлургических реакций в сварочной ванне.

Уже в 1939 г. в Институте электросварки был разработан флюс для сварки угольным электродом, а в 1940 г. – создан первый специальный флюс для сварки плавящимся электродом низкоуглеродистых и углеродистых сталей, вошедший в историю отечественной сварки под индексом АН-1. Существенный вклад в разработку новых составов флюсов внесли ученые ЦНИИТМАШ во главе с К.В. Любавским. Ими в начале 1941 г. был создан плавный флюс ОСЦ-45, широко применяемый до сих пор для автоматической сварки сталей обычной, средней и повышенной прочности [10].

Дальнейшие работы в этом направлении позволили создать широкую гамму плавных флюсов для сварки практически любых сталей и сплавов. Другим направлением в разработке флюсов для автоматической сварки послужили работы К.К. Хренова<sup>32</sup>. Он предложил сухие тонкоизмельченные и перемешанные компоненты флюса замешивать на водном растворе жидкого стекла. Затем из этой массы формовали гранулы. Их сушили, измельчали и просеивали, получая частицы определенной крупности (0,5–2 мм). Флюсы, изготовленные подобным образом, получили название керамических. [1]

Первые керамические флюсы, разработанные К.К. Хреновым и Д.М. Кушнаревым, нашли промышленное применение в нашей стране

в судостроении. Они обеспечивали дополнительное легирование металла шва марганцем и кремнием за счет вводимых в состав флюса ферросплавов. Серьезным достижением в этой области является разработка серии керамических флюсов, позволяющих более мобильно, чем при использовании плавящихся, получать металл шва заданного химического состава. В 1942 г. были начаты работы по созданию полуавтоматической сварки под флюсом (рис. 2.19) [1].



*Рис. 2.19. Шланговый полуавтомат для сварки под флюсом*

При этом процессе была механизирована лишь подача сварочной проволоки в зону дуги, осуществляемая по мере ее плавления специальным устройством – подающим механизмом. Все остальные операции, в том числе перемещение горелки по стыку, обеспечение постоянства дугового промежутка, осуществляются сварщиком. Полуавтоматическая сварка под флюсом не получила широкого распространения. Это связано с тем, что в процессе выполнения сварки было невозможно визуальное наблюдение за положением электрода по отношению к свариваемым деталям.

ваемым кромкам. Сварку можно было вести только в нижнем положении [1].

В 1952 г. для сварки алюминия разработан вариант, при котором для защиты зоны дуги применяется тонкий дозированный слой флюса. Он обеспечивает защиту только нижней части дуги и поверхности сварочной ванны.

В связи с этим данный процесс получил название «сварка по флюсу».

Он нашел применение в промышленности для сварки цветных металлов. В настоящее время трудно найти отрасль производства, где бы не применялась сварка под флюсом. При помощи этого процесса осуществляется изготовление судов, вагонов, многослойных сосудов, кранов, роторов гидрогенераторов и других изделий.

Сварка под флюсом широко используется при изготовлении сварно-литых, сварно-кованых и сварно-штампованных конструкций. Изделия, создаваемые с применением этого способа сварки, работают во всем диапазоне естественных климатических температур, при сверхвысоких температурах и в условиях глубокого холода, в агрессивных средах и при давлениях значительно отличающихся от атмосферного.

## **2.6. Разработка и развитие процесса сварки в защитных газах**

Идея сварки в защитном газе была предложена в конце XIX в. Н.Н. Бенардосом. Но этот метод Бенардоса нашел применение лишь спустя почти пол века и был необоснованно назван американцами «способом Александра».

Практическое осуществление данного способа сварки приходится на XX в. Дуговая сварка в защитном газе основана на оттеснении воздуха из зоны сварки потоком газа. В качестве защитного газа используют инертные газы: аргон и гелий, активные газы: азот, водород, углекислый газ, а также смеси газов.

Практически впервые сварку в смесях газов осуществили в 20-е гг. XX в. в США. Первые сообщения о сварке в инертном газе неплавящимся вольфрамовым электродом появились за рубежом в начале 40-х гг. прошлого века. В нашей стране аналогичный способ сварки появился в конце 40-х гг. В 1949 г. в Институте электросварки был разработан способ сварки угольным электродом в углекислом газе.

Сварка в инертном газе плавящимся электродом была разработана в нашей стране в это же время. В 1952 г. К.В. Любавский и Н.М. Новожилов получили положительные результаты по сварке в углекислом газе плавящимся электродом [1].

В настоящее время имеется много разновидностей сварки в защитных газах, которые получили широкое распространение в нашей стране и за рубежом.

Сварке в защитных газах присвоены различные аббревиатуры, такие как: TIG (Tungsten Inert Gas) – сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного защитного газа, например так называемая аргонодуговая сварка; MIG/MAG – Metal Inert/Active Gas – электродуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде инертного/активного газа с автоматической подачей присадочной проволоки. Это полуавтоматическая сварка в среде защитного газа (углекислого или другого инертного газа) – наиболее универсальный и распространенный в промышленности метод сварки. Иногда этот метод сварки обозначают GMA (Gas Metal Arc) или GMAW (Gas Metal Arc Welding). Применение термина «полуавтоматическая» не вполне корректно, поскольку речь идет об автоматизации только подачи присадочной проволоки, а сам метод MIG/MAG с успехом применяется при автоматизированной и роботизированной сварке. Словосочетание «сварка в углекислом газе», к которому привыкли многие специалисты, умышленно упущено, так как при этом методе все чаще используются многокомпонентные газовые смеси, в состав которых помимо углекислого газа могут входить аргон, кислород, гелий, азот и другие газы.

Интенсивное развитие сварки в защитных газах объясняется ее преимуществами по сравнению с дуговой сваркой покрытыми электродами:

- высокая степень концентрации нагрева изделия, позволяющая значительно уменьшить зону термического влияния и коробление изделия после сварки;
- высокая производительность;
- возможность получения высококачественных соединений из металлов и сплавов различных марок и толщин при различной конфигурации швов и различном расположении их в пространстве;
- широкая возможность механизации и автоматизации процесса.

### **2.6.1. Сварка неплавящимся (TIG) и плавящимися (MIG) электродами в инертном газе**

Использовать для защиты зоны сварки инертный газ предлагали еще в начале XX в. В частности, в 1918 г. на такую идею был выдан патент США № 1589017 Дж. Линкольну. В 1919 г. Г.Х. Хобарт из фирмы «Дженерал электрик» предложил применить в качестве защитного газа гелий, в 1926 г. патенты на способы «Гелиарк» и «Аргонарк» были выданы Ф.К. Дьюерсу, однако достичь удовлетворительного качества ме-

талла шва не удалось. В то же время в фирме «Дженерал электрик» И. Ленгмюром<sup>33</sup> была создана атомно-водородная сварка и П. Александер продолжал ее совершенствовать, используя горючие и активные газы. Развитие авиации начало предъявлять все более высокие требования к качеству сварных соединений. Возникла острая необходимость в реализации идей защиты инертными газами. Вскоре удовлетворительную горелку для ручной сварки сконструировали Г. Хобарт и П.К. Деверс. В середине 1930-х годов к совершенствованию технологии сварки вольфрамовым электродом в аргоне (TIG) приступила фирма «Бернард велдинг эквипмент». В 1935 г. П. Александер в лабораторных условиях добился хорошей защиты сварочной ванны инертным газом. В Германии, как и в ряде других стран, где широко применяли атомно-водородную сварку, были попытки при той же схеме сварки заменить водород на гелий (1938 г.) и аргон (1941 г.), однако была ли создана приемлемая для практики технология, неизвестно [11].

Специалисты фирмы «Доу кемикел Ко» (США) пытались решить проблему сварки алюминиевых и магниевых сплавов, применив дуговую сварку плавящимся электродом в аргоне (MIG), но исключить прожоги не удавалось. В конце 1941 г. Р. Мередит (фирма «Нортрон эйркрафт») разработал технологию сварки TIG в аргоне на постоянном токе обратной полярности, а затем и переменным током от трансформатора промышленной частоты с высокочастотной приставкой (патент США № 2274631 от 24.02.1942 г.). В 1942 г. Т.Р. Пайпер, В.Х. Павлек и Р. Мередит («Нортрон эйркрафт») разработали технологию сварки вольфрамовым электродом в гелии. В начале 1940-х годов сваркой в инертных газах заинтересовались и в Великобритании (В.С. Деверс, Дж.Р. Хэндфорт). Первым результатом работы Британской сварочной исследовательской ассоциации было внедрение сварки MIG при строительстве алюминиевого парохода «Квин Элизабет» под руководством П.Т. Хоулдрокфта [11].

В 1948 г. в СССР в Научно-исследовательском институте авиационных технологий (НИАТ) А.Я. Бродский, А.В. Петров и другие разработали процессы сварки TIG и MIG. С целью снижения стоимости технологий были проведены эксперименты по сварке алюминиевых и магниевых сплавов в техническом аргоне и нержавеющей и жаропрочных сталей в аргоно-азотной смеси [12]. Однако к началу 1950-х годов технология сварки в инертных газах изделий из алюминиевых сплавов толщиной более 10 мм достаточного качества не обеспечивала. Более эффективным оказался способ автоматической дуговой сварки по флюсу, разработанный в 1951 г. в ИЭС им. Е.О. Патона (Д.М. Рабкин) [11]. В США прошла дискуссия о возможности широкого применения сварки

TIG, отмечалось отсутствие разбрызгивания, отказ от активных фтор- и хлорсодержащих флюсов, доступность для обозрения зоны плавления. К концу 1950-х годов сварку TIG уже применяли в СССР, США и ряде других стран при изготовлении конструкций из высоколегированных сталей, инконеля, монеля, меди, алюминия и их сплавов [13].

Темпы развития дуговой сварки в инертных газах в течение 1960-х годов были выше темпов развития других способов соединения. Велся интенсивный поиск технологий изготовления сложных инженерных конструкций из новых сплавов, повышения производительности процессов, коэффициента плавления, расширения диапазона свариваемых толщин. К середине десятилетия промышленность получила технологию сварки цветных металлов и нержавеющей сталей толщиной от менее 1 мм до десятков миллиметров; механизированную сварку в различных пространственных положениях. Были разработаны приставки к стандартным источникам питания и специальные источники, обеспечивающие стабильное течение процесса. Были созданы источники питания и технология сварки переменным током с наложением импульсов или группы импульсов различных параметров; регулированием параметров импульсов тока, напряжения или изменения мгновенной мощности по определенной программе или с автокоррекцией (Б.Е. Патон, А.Г. Потапьевский, П.П. Шейко, А.А. Алов, А.В. Петров, Г.А. Славин и др.). Аналогичные процессы были разработаны и в США, Великобритании, Японии, Германии, Италии и ряде других стран [11].

Несмотря на то, что сварку в инертных газах оценили, прежде всего, за упрощение проблем с металлургическими процессами, неизбежными при сварке под флюсами и в активных газах, одним из направлений исследований стал поиск методов металлургического воздействия на ванну. Сформировалось три направления: введение в зону сварки активных газов; применение флюсов и паст; применение присадочных и электродных проволок с дополнительными составами. Одновременно эти же технологические приемы использовали и для управления физическими процессами в зоне сварки – плавлением электрода и формированием ванны. При сварке MIG добавление в аргон кислорода и углекислого газа при сварке углеродистых и некоторых легированных сталей повышает плотность металла шва. А.В. Петровым (НИАТ) разработана система двухструйной защиты при сварке TIG: аргон подается через внутреннее сопло и омывает вольфрамовый электрод, углекислый газ – через наружное сопло. Для сварки изделий из высокоактивных металлов толщиной менее 1 мм в НИАТ была разработана смесь аргона с 5...10 % водорода, что позволило воздействовать на ход металлургических процессов. Разработаны технологии сварки стальных конструкций

в смеси аргона с 1...2 % кислорода при струйном переносе электродного металла. Корпорация «Юнион карбайд» установила возможность применять при сварке стали смесь из 75 % аргона и 25 % оксида углерода. Для сварки алюминиевых сплавов предложена смесь Ar (He) с «легирующим газом» NO, O<sub>2</sub> или CO<sub>2</sub>. Для управления металлургическими процессами было предложено введение в зону плавления небольшого количества многокомпонентных добавок легкоионизируемых и поверхностно-активных веществ, в частности, в каналах металлической проволоки [11].

В 1960-х годах сварка в инертных газах развивалась еще в одном направлении – повышение проплавающей способности процесса. Были предложены способы, основанные на сокращении размеров активного пятна на поверхности изделия при действии деионизирующих веществ; сжатии столба дуги (плазменно-дуговая сварка); приближении электрода к поверхности или погружении его в сварочную ванну (сварка погруженной дугой) и повышении концентрации энергии дуги при увеличении внешнего давления [11].

ИЭС им. Е.О. Патона был разработан процесс сварки TIG по слою бескислородных флюсов и паст с галоидными солями щелочных металлов, которые уменьшают размер активного пятна. Эти особенности процесса были использованы при сварке конструкций из молибдена, ниобия, специальных легированных сталей в ракетостроении, атомной энергетике и др. Сварка, получившая название А-TIG, признана одной из самых перспективных и находит применение в странах Европы, Азии, Америки [11].

Способ сварки вольфрамовым электродом со сжатием столба дуги в канале сопла малого диаметра, предложенный в 1957 г. Р. Гейджем, получил название плазменной сварки. Управление тепловым и динамическим напором плазменно-газового потока позволило расширить диапазон свариваемых толщин, в том числе и в сторону уменьшения до долей миллиметра (микроплазменная сварка). На основе этой идеи в начале 1960-х годов НИАТ, ИЭС им. Е.О. Патона и другими организациями был разработан ряд приемов увеличения производительности сварки вольфрамовым электродом. Этот способ сварки TIG оказался наиболее перспективным для изготовления алюминиевых конструкций ответственного назначения, применяется при различных импульсах сварочного тока и способах подачи присадочной проволоки.

Для соединения титановых сплавов большой толщины эффективной оказалась сварка погруженной дугой, при которой конец вольфрамового электрода находится ниже поверхности свариваемых деталей, дуговой промежуток сводится к минимуму.

Повысить коэффициент наплавки и расширить диапазон регулирования глубины проплавления основного металла удалось при сварке ТIG двумя электродами, расположенными в плоскости, перпендикулярной оси шва. С помощью необходимых присадочных материалов (проволоки и др.) этот процесс дает возможность получить состав шва, отличающийся от основного металла, что особенно необходимо для наплавки.

Значительный эффект удалось достичь, когда в качестве защитного газа при сварке ТИГ алюминиевых сплавов на прямой полярности применили гелий. При этом способе расстояние между поверхностью изделия и электродом около 1 мм и дуга фактически полностью погружена. Поскольку дуга в гелии выделяет в 1,5...2 раза больше энергии, чем в аргоне, удалось получить более глубокое проплавление при меньшем разогреве основного металла, повысить скорость сварки и уменьшить зону термического влияния. Несмотря на сравнительно высокую стоимость гелия и сложность выполнения (заточка конца электрода на острый угол и длина дуги в пределах 1...2 мм) процесс нашел применение при сварке изделий из термически упрочненных алюминиевых сплавов в авиа-, ракето- и судостроении. В некоторой степени эффективность сварки ТIG сохраняется достаточной высокой при использовании смеси аргона (35...40 %) и гелия.

В конце XX – начале XXI веков сварка в инертных газах продолжает развиваться. Так, в этот период усилия направлены на создание технологий, обеспечивающих повышение производительности процесса, получение высокого качества соединений новых сплавов, расширения диапазона изготавливаемых конструкций и др. Кроме того, получают развитие работы по оценке электромагнитного воздействия на электрод и ванну, совмещения источников нагрева (комбинированные и гибридные способы). Дуговая сварка в среде защитных газов приобретает имидж процесса, характеризующегося широкими возможностями автоматизации и роботизации процессов изготовления изделий различного назначения, выполнения швов различной геометрии во всех пространственных положениях [13].

### **2.6.2. Сварка в углекислом газе (MAG)**

При высокой температуре углекислый газ разлагается на окись углерода и кислород. В целом такая среда является окислительной по отношению к большинству компонентов металлов. Поэтому углекислый газ, защищая расплавленный металл от взаимодействия с воздухом, не может исключить окисление его компонентов. Сведение к минимуму

влияния окислительных свойств газовой фазы на состав металла шва и его формирование является основной задачей, решение которой позволило осуществить промышленное применение данного способа сварки. Первоначально эта задача решалась путем применения угольного неплавящегося электрода для сварки низкоуглеродистых сталей.

Как показали исследования, проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона, при сварке низкоуглеродистой стали на постоянном токе прямой полярности происходит незначительное выгорание углерода, что обеспечивает близость химического состава и свойств металла шва к полученному аргонно-дуговой сваркой. Это и ряд других сварочно-технологических характеристик позволили очертить первоначальную область применения этого способа сварки: тонкостенные изделия или трубы малого диаметра [1].

В основном применялась сварка с отбортовкой кромок или стыковых швов. Во всех этих случаях сварка тонкого металла угольной дугой обеспечивала удовлетворительное формирование шва в любом пространственном положении, так как объем жидкой ванны мал. Изучение металлургических процессов позволило распространить сварку угольным электродом в углекислом газе на нержавеющие стали и комбинированные соединения (низкоуглеродистая сталь + высоколегированный сплав).

Применение плавящихся электродов для сварки в углекислом газе сдерживалось тем, что наличие окислительной атмосферы приводило к выгоранию углерода и легирующих компонентов из металла, а также к появлению пор в шве. Также такой процесс сопровождался повышенным разбрызгиванием металла.

Таким образом, для предотвращения указанных выше недостатков необходимо было подавить окислительный потенциал газовой фазы. Это было достигнуто путем применения проволоки, легированной марганцем и кремнием, которые являются хорошими раскислителями. Введение дополнительного количества раскислителей в зону дуги подавляет окисление углерода и выгорание других элементов из металла, что устраняет образование пор и обеспечивает получение швов с достаточно высокими механическими свойствами.

Сотрудниками ЦНИИТМАШ в середине 50-х гг. XX в. были разработаны технологические рекомендации по сварке в углекислом газе проволоками диаметром 1,6–2,5 мм углеродистых, нержавеющих и ряда конструкционных сталей. Новый способ сварки обеспечивал более высокую производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой, но мог быть использован только для выполнения швов в нижнем положении металла средних и больших толщин [1].

В это же время в Институте электросварки при непосредственном участии Б.Е. Патона был разработан процесс сварки в  $\text{CO}_2$  тонкой проволокой диаметром 0,5–1,2 мм, протекающий с принудительными короткими замыканиями. По своей физической природе данный процесс является импульсно-дуговым. Данный вариант сварки применяется для соединения углеродистых и нержавеющей сталей малых толщин, выполнения швов, расположенных в вертикальном, горизонтальном и потолочном положении.

Для реализации этих способов разработана специальная аппаратура для автоматической и полуавтоматической сварки. Полуавтоматическая сварка в  $\text{CO}_2$  отличается большой маневренностью, простотой поддержания стабильного режима и техники выполнения швов.

В то же время при использовании серийной проволоки Св-08Г2С процесс сварки сопровождался разбрызгиванием до 15 %. Исследованиями российских ученых установлено, что потери на разбрызгивание существенно зависят от соотношения между напряжением и током сварки, чистоты поверхности проволоки, магнитного дутья, динамических свойств источника питания, техники выполнения сварки и квалификации сварщика.

Одним из путей уменьшения разбрызгивания при сварке в углекислом газе является введение в дугу ряда веществ: солей щелочных и щелочноземельных металлов, оксидов титана, легирующих элементов. Наиболее широкое распространение получил способ введения различных веществ в дугу при сварке в углекислом газе за счет использования порошковой проволоки. Основу шихты порошковых проволок, используемых для сварки в  $\text{CO}_2$ , составляют шлакообразующие, раскислители и легирующие. Наиболее широкое применение нашли рутиловые и рутил-флюоритные порошковые проволоки [1].

## 2.7. Плазменная сварка и резка

При плазменной сварке и резке в качестве источника нагрева используется электрическая дуга, столб которой принудительно обжат для повышения концентрации его тепловой энергии на обрабатываемом изделии. При обычной дуговой сварке дуга горит свободно между электродом и изделием. Однако если при помощи каких-либо приемов не дать возможность дуге занять ее естественный объем, а сжать ее, то температура дуги значительно повышается.

Основным инструментом при плазменной сварке и резке является плазматрон (рис. 2.20 и 2.21). В устройствах такого типа рабочий газ подается в разрядную камеру, внутри которой горит мощная дуга. За

счет теплообмена с дугой газ нагревается, ионизируется и истекает через выходное отверстие камеры (сопло) в виде плазменной струи, используемой в качестве источника нагрева. Плазмой принято считать частично или полностью ионизированный газ. Плазма газового разряда в зависимости от состава среды характеризуется температурами от 2000 до 50000 °С [1].

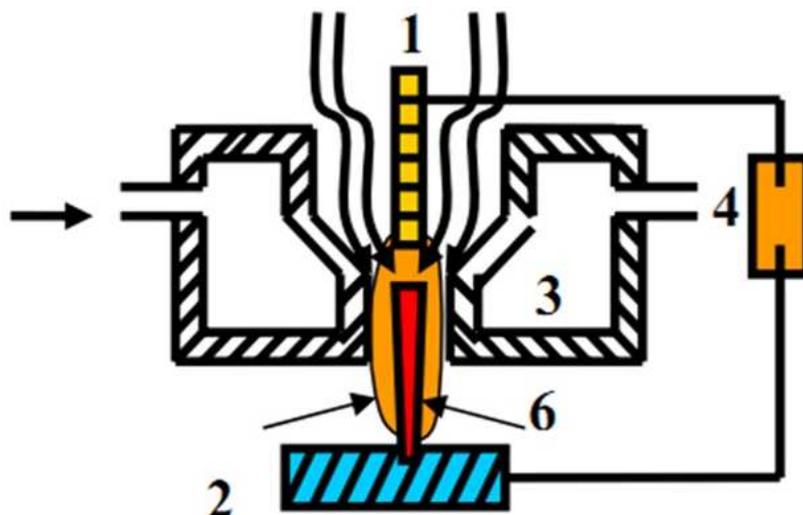


Рис. 2.20. Плазмоторн прямого действия:

1 – электрод, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – водоохлаждаемый корпус, 4 – источник постоянного тока, 5 – дуговой разряд, 6 – плазменная струя [14]

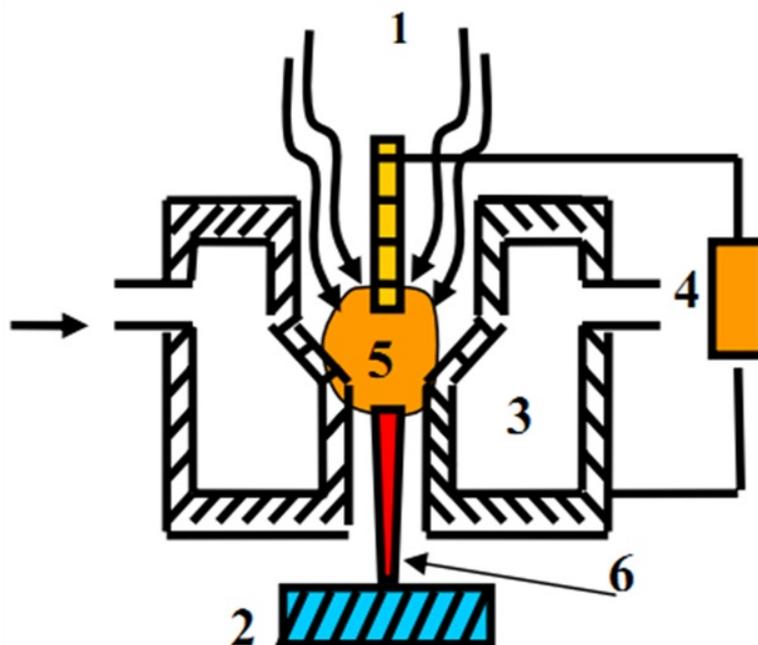


Рис. 2.21. Плазмоторн косвенного действия:

1 – электрод, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – водоохлаждаемый корпус, 4 – источник постоянного тока, 5 – дуговой разряд, 6 – плазменная струя [14]

Применение плазмотронов в сварочной технике началось с середины 50-х гг. XX в., после того как для соединения тонколистового металла получила широкое распространение аргонно-дуговая сварка неплавящимся электродом. Естественно, что первые сварочные плазмотроны были сконструированы на базе горелок для аргонно-дуговой сварки.

Основное отличие их заключалось в применении водоохлаждаемой металлической камеры вместо керамического защитного сопла. Эта камера полностью охватывала вольфрамовый электрод, оканчиваясь соплом, соосным с электродом и соизмеримым с диаметром столба дуги. Проходящий под давлением между водоохлаждаемыми стенками камеры и столбом дуги газ охлаждал и сжимал столб, а также обеспечивал его тепловую и электрическую изоляцию от стенок сопла.

В сварочных плазмотронах истекающая из сопла плазменная струя совмещена со столбом дуги. Таким образом, при плазменной сварке и резке теплопередача в обрабатываемый металл осуществляется как путем конвективного нагрева его плазменной струей, так и за счет тепла дуги. Это обеспечивает высокий энергетический КПД данных процессов.

Применение плазменной сварки и резки в нашей стране базировалось на результатах систематических исследований, которые проводились в Институте металлов им. А.А. Байкова по руководством Н.Н. Рыкалина<sup>34</sup>. Были изучены физические и энергетические свойства сжатой дуги в аргоне, определены ее технологические возможности. В частности, было показано, что плазменная струя проявляет ярко выраженные режущие свойства. Это обусловило сравнительно высокие темпы развития промышленных разработок в этом направлении [1].

Основная задача, на решение которой была направлена исследовательская мысль специалистов по резке, состояла в максимальном повышении тепловой концентрации и кинетической энергии сжатой дуги. На первой стадии развития плазменной резки в качестве плазмообразующего газа использовали аргон. Его применение обеспечивало высокую стойкость вольфрамовых электродов, легкость зажигания дуги и низкое ее напряжение, что было особенно благоприятно для ручного способа.

До середины 60-х гг. прошлого века были разработаны ручные и механизированные установки, а также технологии для плазменной резки алюминия, меди, латуни и нержавеющей стали. Последующие работы привели к созданию процессов, в которых используются более дешевые рабочие среды, а плазмотроны имеют более высокую стойкость. Кроме того, были определены области рационального применения рабочих сред при плазменной резке. В качестве рабочих сред

наиболее широко стали использоваться технические газы: азот, водород, кислород, сжатый воздух [1].

При этом выбор производится с учетом свойств рабочей среды и обрабатываемого материала. Одновременно были разработаны катоды плазмотронов из более надежных материалов, чем вольфрам. В частности, циркониевые и гафниевые катоды позволили применять плазменную резку в окислительных средах. Для применения плазменной струи для сварки металлов необходимо было решить сложную проблему – сохранив высокую тепловую мощность столба дуги, уменьшить ее силовое воздействие, которое выдувает металл из сварочной ванны и вызывает неудовлетворительное формирование шва. Исследования, проводившиеся в нашей стране и за рубежом, показали, что для решения вышеуказанной проблемы необходимо найти рациональное соотношение основных технологических характеристик процесса: величины сварочного тока, длины дуги и расхода плазмообразующего газа.

Было разработано несколько технологических схем процесса плазменной сварки. Для сварки тонколистовых материалов применены малоамперные дуги, горящие в импульсном режиме. Импульсное введение тепла в металл расширяет область регулирования теплового режима сварки и существенно уменьшает теплоотвод в кромки металла. Для расширения диапазона толщин металла, свариваемого сжатой дугой, применили другой прием: снизили эффективность обжатия дуги с одновременным увеличением диаметра канала сопла. Это позволило сваривать нержавеющие стали и алюминиевые сплавы толщиной 10 мм. Исследования по применению для сварки малоамперных дуг привели к созданию микроплазменной сварки.

Этот способ разработан в 1965 г. в Швейцарии фирмами «Сешерон» и «Мессер-Грисхайм». Для микроплазменной сварки используют малогабаритные горелки с вольфрамовым электродом, рассчитанные на сварочный ток не более 30–40 А. Данным способом сваривают листы толщиной 0,025–0,8 мм из углеродистой и нержавеющей стали, меди, никелевых сплавов, титана, молибдена, тантала, вольфрама, золота. Процесс ведут в непрерывном или импульсном режиме [1].

В настоящее время микроплазменная сварка применяется в самолетостроении, атомной, газовой, электронной, медицинской и других отраслях промышленности для изготовления сильфонов, миниатюрных трубопроводов, полупроводниковых приборов и многих других изделий. Есть все основания предполагать, что в течение ближайших десятилетий микроплазменная сварка останется одним из основных способов соединения тонких металлов и сплавов.

## 2.8. Электрошлаковая сварка и наплавка

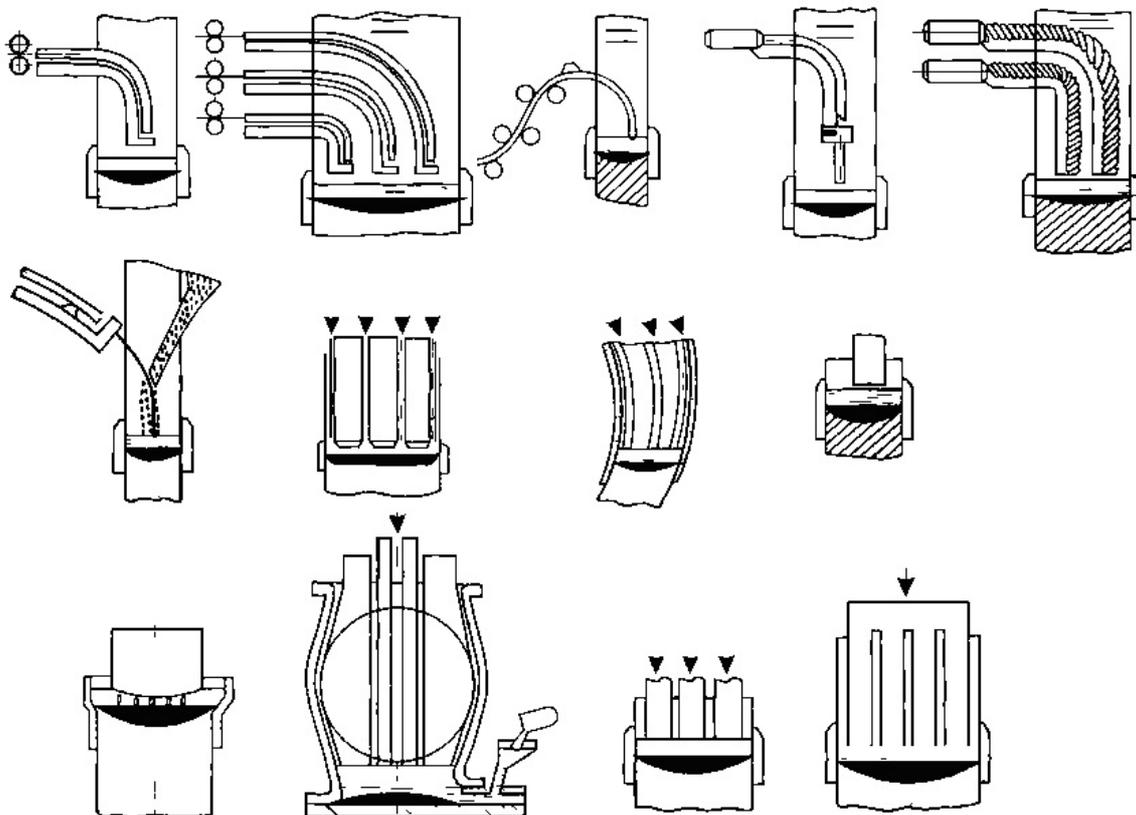
В 1947 г. под руководством Е.О. Патона начались исследования условий формирования валика в различных пространственных положениях. Был испытан ряд способов получения вертикальных швов как с принудительным, так и со свободным формированием: сварка с поперечными или более сложными колебаниями, прерывистая (точками), сварка на пониженном токе. На основании этих исследований была создана теория формирования валика сварного шва и доказана целесообразность распространения способа сварки под флюсом в вертикальном положении с принудительным формированием шва водоохлаждаемыми ползунами [10].

В 1948 г. на заводе «Запорожсталь», где строили несколько доменных печей, Г.З. Волошкевичем были сварены автоматом в монтажных условиях четыре опытных пояса доменной печи. В следующем году сотрудниками ИЭС совместно с работниками треста «Сталь монтаж» Минстроя предприятий тяжелой индустрии был сварен кожух доменной печи объемом 1050 м<sup>3</sup>. Сварку выполняли одним проволочным электродом, подаваемым в шлаковую ванну сравнительно большого объема. Были доказаны существенные преимущества нового способа сварки по сравнению с применяющимися на заводах: трудоемкость основных операций снизилась в 2–3 раза, повысился съём готовой продукции с единицы площади.

Продолжая работать над технологией дуговой автоматической сварки под флюсом вертикальных швов с принудительным формированием, Г.З. Волошкевич обнаружил, что в некоторых случаях (при глубине шлаковой ванны более 40 мм, перегреве ванны) дуговой процесс становится неустойчивым и даже прекращается, однако электродный металл, флюс и крошки плавятся. Процесс плавления осуществляли за счет теплоты омического сопротивления при прохождении тока через жидкий шлак. В 1949 г. на основе этого процесса в ИЭС начали разрабатывать электрошлаковую сварку (ЭШС).

Первыми приняли участие в освоении и совершенствовании нового вида сварки Таганрогский котельный завод «Красный котельщик» (ТКЗ), Барнаульский котельный завод и Новокраматорский машиностроительный завод им. И.В. Сталина (НКМЗ). На ТКЗ были сварены сосуды высокого давления с толщиной стенки 90 мм. В 1951 г. на НКМЗ электрошлаковую сварку применили при изготовлении статоров гидротурбин массой до 80 т, а позднее – валов гидротурбин и гидрогенераторов [10].

К концу 1950-х гг. сотрудниками ИЭС при участии инженерно-технических работников ряда заводов была разработана техника сварки всех типов соединения, при этом для заполнения зазоров использовали проволоку, пластины, электроды большого сечения, порошковые и кусковые присадки (рис. 2.22).



*Рис. 2.22. Схемы ЭШС с проволочными и пластинчатыми электродами, плавящимися мундштуками, электродами большого сечения, с порошкообразным присадочным материалом*

К числу наиболее важных технологических усовершенствований следует отнести сварку с узким зазором между кромками, позволяющую уменьшить объем металлической ванны, увеличить скорость ее кристаллизации и уменьшить зону термического влияния. Было разработано несколько приемов начала процесса сварки: с помощью электропроводного в твердом состоянии флюса АН-25; заостренным концом электрода и возбуждением дуги, расплавляющей порцию флюса; заливкой в зазор расплавленного шлака и др. Был разработан оригинальный способ контактно-шлаковой сварки, при котором свариваемые детали располагают вертикально (Д.А. Дудко, И.К. Походня<sup>35</sup>), а на кромке (торце) нижней детали разводят шлаковую ванну (например, с помощью графитового неплавящегося электрода). После выдержки, необходимой

для расплавления кромки, электрод убирают, а в ванну опускают вторую верхнюю часть изделия и производят ее осадку, предварительно отключив источник питания. Эта технология нашла применение при массовом изготовлении изделий стержневого типа и явилась прототипом стыко-шлаковой наплавки [10].

Другое направление развития электрошлаковой сварки и наплавки основывалось на исследовании металлургических особенностей процесса, создании высокопрочных сталей с хорошей свариваемостью и соответствующих сварочных материалов. Были развернуты работы по электрошлаковой сварке алюминия, меди, титана и сплавов на их основе. Всю поисковую деятельность координировал Б.Е. Патон. В 1952 г. была разработана технология электрошлаковой сварки коррозионно-стойких сталей (Б.И. Медовар<sup>36</sup>) [10].

Большое значение имели исследования условий возникновения трещин при электрошлаковой сварке легированных сталей, а также влияние параметров режима сварки и термообработки на механические свойства соединений (А.М. Макара, Ю.Н. Готальский, В.Ф. Грабин, И.В. Новиков). Эти и ряд других работ открыли возможность применения электрошлаковой сварки сталей, из которых изготавливают конструкции мощного металлообрабатывающего и энергетического оборудования.

В начале 1950-х гг. на НКМЗ было организовано производство ковочно-штамповочных прессов усилием 40 МН. Станины, стойки, архитравы и другие детали прессов изготавливали из толстолистовых элементов с помощью электрошлаковой сварки. На НКМЗ было изготовлено несколько станин прокатных станов со сварным сечением до 900×900 мм, станины для Ашинского, Запорожского и Челябинского металлургических заводов, валы гидротурбин для Куйбышевской и Сталинградской ГЭС. На Ижорском заводе им. А.А. Жданова (Ленинград) на основе технологии, разработанной в сотрудничестве со специалистами ИЭС и ЦНИИ технологии машиностроения (Москва), была изготовлена сварнокованная заготовка ротора турбогенератора мощностью 1000 МВт, на НКМЗ – сварная подштамповая плита массой 140 т и рабочие цилиндры гидропрессов. На Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе (Свердловск) была освоена электрошлаковая сварка при производстве шагающих экскаваторов, дробилок, прессов. Изделия сваривали из сталей различных марок – от низкоуглеродистой до комплексно-легированных [10].

В судостроении освоение электрошлаковой сварки началось в 1949 г., в процессе испытания первого образца аппарата для сварки монтажных стыковых швов (трактор ТС-20 с магнитным присосом), со-

зданного в ИЭС (В.Е. Патон<sup>37</sup>). К 1955 г. в ЦНИИ ТС были закончены основные исследования и началось внедрение этого процесса в строительство судов большого водоизмещения (танкеров, сухогрузов, рефрижераторов и др.), что позволило снизить трудоемкость сварочных работ при выполнении монтажных стыков в два раза, а также повысить уровень механизации сварочных работ при постройке корпусов судов. Использование электрошлаковой сварки при изготовлении штевней сварно-литой конструкции для танкеров водоизмещением 16500 т уменьшило себестоимость этих деталей в два раза.

В 1954 г. Для сварки Прямоугольных сечений толщиной до 1000 мм были предложены много-электродные аппараты. Однако техника сварки большим количеством электродов (до двух десятков) представляла определенные сложности. Проволочные электроды были заменены одним или несколькими пластинчатыми электродами.

Данный способ, впервые реализованный на НКМЗ, позволил упростить аппаратуру и технологию. Но поскольку при этом невозможно было сваривать протяженные швы, разработали способ сварки плавящимся мундштуком, обладающий всеми преимуществами сварки проволочным и пластинчатым электродами. Электрошлаковую сварку начали применять не только для выполнения прямолинейных швов, но и швов сложного профиля, расположенных в труднодоступных местах, соединяющих неповоротные стыки труб. Толщина металла, сваренного с помощью плавящегося мундштука, превысила 2 м.

Во многих случаях электрошлаковая сварка стала завершающей операцией по изготовлению изделия любой формы практически неограниченных размеров и массы из отлитых, кованных и прокатанных заготовок сравнительно небольшой массы, благодаря чему отпала необходимость в строительстве предприятий с мощнейшим технологическим оборудованием. Огромную экономию дало также использование электрошлаковой сварки для укрупнения заготовок с последующей ковкой. С целью соединения деталей большой толщины в ИЭС были разработаны следующие способы электрошлаковой сварки: электродными проволоками – для швов большой протяженности; плавящимся мундштуком – для швов большой протяженности в местах с ограниченным оперативным пространством; пластинчатым электродом – для швов малой протяженности [10].

Электрошлаковая сварка позволила не только сваривать детали неограниченной толщины, но и по-новому подойти к созданию сварных конструкций тяжелых машин. Примером нового конструктивного решения крупногабаритных деталей является сварка гидравлических штамповочных прессов усилием 750 МН. Здесь вместо классических

колонн и траверс применены толстостенные сварные плиты из проката и проковок, что явилось образцом рационального применения сварных конструкций на основе коренного изменения технологии изготовления крупногабаритных деталей.

Одновременно с развитием сварочной технологии электрошлаковый процесс разрабатывался применительно к наплавке. Было предложено несколько схем. Кроме обычного наплавляемого слоя, осуществляемого с использованием формирующих ползунов в вертикальном положении, разработаны процессы наплавки в нижнем положении, стыкошлаковой наплавки, наплавки поверхностей при горизонтальном и вертикальном расположениях оси цилиндра [10].

Преимущества электрошлакового процесса с середины 1950-х гг. начали реализовываться с целью наплавки износостойких сплавов, восстановления изношенных деталей, облицовки рабочих поверхностей, получения биметаллических заготовок. Электрошлаковая наплавка отличается высокой производительностью. Благодаря достаточной стабильности процесса при низкой плотности тока в электроде можно использовать в качестве плавящихся электродов прутки, пластины, стержни и т. п. При этом глубина проплавления незначительна.

К 1955 г. И.К. Походней (ИЭС им. Е.О. Патона) были выполнены первые исследования взаимодействия шлака и металла при электрошлаковой наплавке. Одновременно разрабатывали способы наплавки изделий с поверхностью сложной конфигурации, труднодоступной для дуговых технологий и т. п. В частности, была разработана торцевая электрошлаковая наплавка небольшой порции (сталь 3Х2В8) на керны для захвата слитков. В результате наплавки удалось в 6–8 раз увеличить стойкость кернов и существенно сократить простои оборудования на металлургических заводах.

Новые возможности получения наплавленных поверхностей толщиной 20–90 мм открыл процесс электрошлаковой наплавки вертикальных поверхностей (плоских или цилиндрических) с помощью подвижных водоохлаждаемых ползунов или неподвижных кристаллизаторов. Если использовать формирующее устройство с формой поверхности, повторяющей таковую наплавленного слоя, то можно избежать последующей механической обработки изделия или существенно уменьшить ее объем.

Значительный вклад в совершенствование технологии электрошлаковой сварки на первом этапе внедрения, кроме сотрудников ИЭС, внесли инженеры нескольких заводов И.Г. Гузенко, В.В. Черных, И.Д. Давиденко, М.Г. Козулин, В.Г. Радченко<sup>38</sup> и др. В 1950-х гг. в СССР продолжались глубокие теоретические и экспериментальные исследо-

вания, направленные на расширение номенклатуры свариваемых материалов, улучшение качества металла шва и соединения в целом [10].

В течение 1950-х гг. Б.Е. Патоном были разработаны принципы автоматического регулирования процесса ЭШС, послужившие базой для проектирования специальных источников питания аппаратов. Были установлены факторы, влияющие на ход процесса, в том числе на параметры режима сварки, физико-химические свойства шлака, электродной проволоки и наличие электромагнитных явлений. Доказана возможность саморегулирования процесса, подобная таковой при дуговой сварке. Установлены основные требования к сварочным трансформаторам, определены принципиальные схемы источников питания и конкретные конструктивные особенности. Было учтено, что для питания электрошлакового процесса можно использовать трансформатор с относительно небольшим сопротивлением короткого замыкания. Главная особенность трансформаторов, применяемых для электрошлаковой сварки, – широкий диапазон регулирования вторичного напряжения. Первым специализированным был однофазный трансформатор типа ТШС-1000-1. В 1956 г. завершилась работа над созданием трехфазных трансформаторов типа ТШС-1000-3 и ТШС-3000-3. Впоследствии была найдена более практичная схема трансформаторов, допускающая раздельное регулирование фазных напряжений в необходимых пределах без мощной коммутационной аппаратуры [10].

Для ЭШС разрабатывали и совершенствовали специальную сварочную аппаратуру, источники питания, технологическую оснастку и приспособления. Первым промышленным аппаратом, внедренным на ТКЗ, был безрельсовый аппарат А-306. В 1952 г. для сварки на заводе «Запорожсталь» и моста через Днепр в Киеве был разработан рельсовый аппарат А-314. Этими одноэлектродными аппаратами выполняли сварку металлов толщиной до 60 мм. Для расширения диапазона свариваемых толщин до 150 мм вводили механизм горизонтального возвратно-поступательного движения электрода (аппарат А-310). Аппараты А-340, А-350 с трехэлектродной головкой позволяли соединять металл толщиной до 40 мм. Замена асинхронных приводов двигателями постоянного тока расширила технологические возможности аппарата. Схема и компоновка безрельсового аппарата сохранились и в современных автоматах для электрошлаковой сварки. Наиболее удачным аппаратом рельсового типа считается аппарат А-372р, разработанный в 1953 г. Он отличается большой универсальностью, можно сваривать стыки толщиной до 450 мм одной–тремя электродными проволоками с колебаниями; осуществлять быструю переналадку на сварку прямолинейных или кольцевых швов; производить сварку пластинчатыми электродами [10].

В 1956 г. В.Е. Патон и П.И. Севбо разработали магнитошагающий аппарат типа А-501 для сварки угловых швов тавровых и стыковых соединений и многоэлектродный (18 электродов) аппарат А-480 для ЭШС металла толщиной более 450 мм. В 1958 г. в ИЭС впервые в мире были получены конструктивные схемы, изготовлены и испытаны основные типы аппаратов для электрошлаковой сварки (рис. 138). В последующие годы аппараты модернизировали расширяли сферу применения электрошлаковой сварки, повышали надежность процесса. Основные конструктивные решения, разработанные в СССР в процессе совершенствования оборудования для электрошлаковой сварки, были использованы зарубежными фирмами. На протяжении 1960-х гг. в ряде стран выпускали аппараты различных модификаций, аналогичные созданным в ИЭС им. Е.О. Патона: SVUZ-ETZ-450 (ЧССР); «Vertomalic S» (фирма «Аркос», Бельгия); AW-2-V (фирма «Бритиш оксиджен», Великобритания) и др [10].

В конце 1950-х гг. ЭШС нашла применение для соединений рельсов, фланцев большого диаметра и т. п. (Швеция), деталей энергетического оборудования и тяжелых машин (ФРГ, Италия, Нидерланды и др.).

В 1958 г. мировая общественность получила возможность познакомиться с электрошлаковой сваркой на всемирной выставке в Брюсселе, Здесь новый вид сварки был удостоен высшей награды – Гран-при (медали и дипломы были выданы ИЭС и ТКЗ). В последующие годы электрошлаковую сварку демонстрировали на многих международных, отраслевых и других выставках. Периодически в СССР издавали сборники трудов и монографии, в которых подводились итоги последних достижений в разработке ЭШС. Эти обобщения становились ценными справочными пособиями для технологов, конструкторов и руководителей предприятий.

В 1960-х гг. исследованиями различных аспектов электрошлаковой сварки, кроме советских специалистов, работавших в ИЭС им. Е.О. Патона, ЦНИИТМАШ, МВТУ им. Н.Э. Баумана, ЦНИИ ТС и других организациях, заводских лабораториях и на кафедрах вузов, занимались ученые Чехословакии, Бельгии, США, ФРГ, ГДР, Японии. В результате были разработаны способы предупреждения горячих и холодных трещин, а также приемы, уменьшающие температуру металлической ванны, способы повышения скорости сварки. Так, было предложено вводить в шлаковую ванну дополнительный присадочный металл, применять импульсный режим питания током, использовать порошковую проволоку, ленточный электрод, применять узкий зазор между кромками и т. д.

Одной из особенностей электрошлаковых технологий является необходимость поддержания непрерывности процесса плавления, недопустимость незапланированных остановок. Однако электрошлаковая сварка крупногабаритных изделий часто длится десять и более часов, поэтому вероятность выхода из строя отдельных механизмов возрастает. Чтобы избежать нежелательных дефектов, были разработаны сварочные установки с дублированием всех рабочих органов и электрических схем.

В начале 1950-х гг. электрошлаковый процесс был реализован в ИЭС еще в одной технологии – электрошлаковом переплаве (ЭШП). В свою очередь, опыт электрошлакового переплава в начале 1970-х гг. был использован при разработке следующих новых сварочных технологий: с подключением расходимых электродов большого сечения по бифилярной схеме, неподвижными электродами с кусковым присадочным металлом, с жидким стартом [10].

### 3. Разработка процесса контактной электросварки

#### 3.1. История изобретения и развития стыковой контактной сварки

Первым из всех видов преобразования электрической энергии в тепловую – нагрев проводника протекающим током – был открыт в 1801 г. Л. Тенаром<sup>39</sup>. Нагрев и плавку металлов электрическим током в 1802 г. исследовал В.В. Петров. А в 1807 г. Г. Дэви сконструировал первые лабораторные электропечи сопротивления с прямым и косвенным нагревом для исследования свойств металлов [2]. Закон теплового действия тока, устанавливающий зависимость количества выделенной теплоты от параметров проходящего тока, открыли в 1842 г. независимо друг от друга Д.П. Джоуль<sup>40</sup> и Э.Х. Ленц. Джоуль и почти одновременно с ним У. Томсон<sup>41</sup> во время своих исследований электричества сплавляли пучки проводов в коробке с углем, пропуская по проводам электрический ток, т. е. в принципе осуществляли сварку сопротивлением. Впервые внедрили этот вид электронагрева в 1875 г. Вильгельм и Александр Сименсы. На их заводах концы телеграфных проводов со специально выполненным косым срезом торцов собирали внапуск и соединяли путем «накала» проходящим постоянным током прямо в линии для намотки. Однако эти и другие ранние технологии «не прижились», и в последующие годы их никто далее не разрабатывал. Проблема соединения проводов оставалась актуальной: пайка не обеспечивала равномерной электропроводности и равнопрочности проводов, поэтому на стыках оставляли усиление (увеличенный диаметр), а это мешало изготовлению кабелей, генераторов и др [15].

Проблема была решена с помощью новой технологии – стыковой контактной сварки. В ее основу было положено явление, открытое профессором Элихью Томсоном<sup>42</sup>. Во время лекции во Франклиновском технологическом институте в феврале 1877 г. он демонстрировал зарядку конденсатора (лейденской банки) от искровой катушки. У него вдруг возникла идея проверить, что получится, если заряд пойдет обратно при разряде конденсатора на катушку. Профессору показалось, что результат опыта будет интересен не только ему, но и аудитории. В приборе его собственной конструкции вторичная обмотка катушки была сделана из тонкой проволоки, а первичная – из толстой. Томсон соединил между собой концы толстого провода, а вторичную тонкую обмотку подключил к источнику тока. Разряд через тонкую обмотку вызвал ток большой силы в первичной обмотке, и скрученные концы толстой проволо-

ки сплавились в месте соединения. Именно там было наибольшее сопротивление и выделилось наибольшее количество теплоты. Так впервые в мире была осуществлена контактная стыковая сварка. Но к разработке своей новой идеи Томсон приступил лишь через несколько лет, поскольку в конце 1870-х гг. он, кроме преподавания, занимался еще и конструированием дуговых ламп, а также источников питания для них [15].

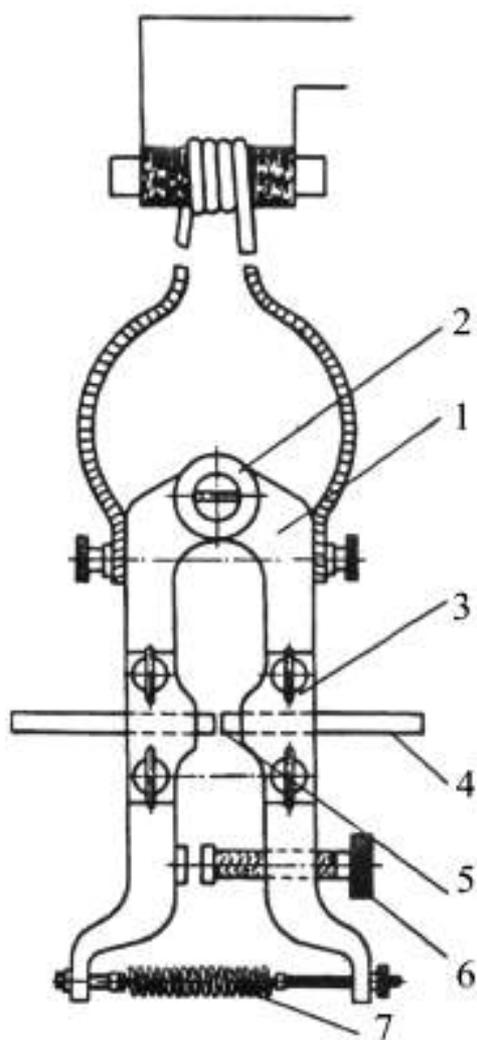
В 1880 г. Э. Томсон оставил преподавательскую деятельность и поступил в качестве инженера-электрика в фирму «Америкэн электрик компани», а через два года он и Э.Дж. Хьюстон для эксплуатации изобретенной ими системы дугового освещения, получившей название «системы Томсона-Хьюстона», организовали собственную фирму «Томсон-Хьюстон электрик компани». Фирма быстро росла, и в 1892 г. здесь работало уже около 4000 человек. За эти годы сфера деятельности компании значительно расширилась. Кроме оборудования для дугового освещения, она стала производить электрические двигатели, трансформаторы, распределительное оборудование, а также оборудование для городских электрических железных дорог (трамвайных линий).

Процветанию фирмы способствовал изобретательский ум Э. Томсона. В короткое время Э. Томсон разрабатывает новые типы дуговых ламп, коммутирующую аппаратуру, динамо-машину для генерирования переменного тока, подаваемого на трансформатор большой удельной мощности, и наконец, специальные токоподводящие зажимы. Таким образом, к 1884 г. Э. Томсоном были созданы необходимые для контактной (стыковой) сварки элементы оборудования. В 1885 г. он отработывает технику сварки, доводит до безотказной работы сварочную аппаратуру и в начале 1886 г. подает заявку на патент, защищающий принципиально новый способ электрической сварки.

Способ Томсона описывался так: «Свариваемые предметы приводятся в соприкосновение местами, которые должны быть сварены, и через них пропускается ток громадной силы (до 200 000 А) при низком напряжении (1...2 В). Место соприкосновения предоставит току наибольшее сопротивление и потому сильно нагреется. Если в этот момент начать сжимать свариваемые части и проковывать место сварки, то после охлаждения предметы окажутся хорошо сваренными». На способ был выдан патент США № 347140 от 10 августа 1886 г. Проковка была не просто данью моде, остатком прежней технологии (кузнечной сварки и клепки), а явилась приемом, обеспечивающим повышение качества металла шва. Как известно, этот прием не отвергался и Н.Н. Бенардосом [15].

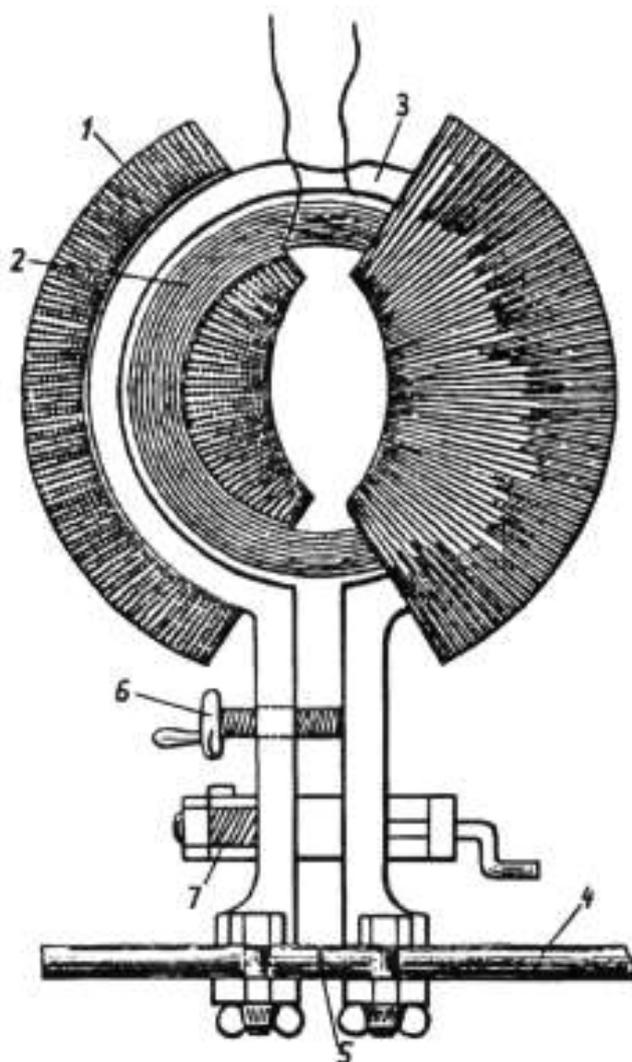
Поскольку кроме нагрева применяли и механическое сдавливание, сходное с приложением силы при кузнечной сварке, первоначально способ называли «электрической ковкой» или «безогненным методом сварки».

Первое устройство, выполняющее нагрев и сжатие двух проводов, состояло из двух рычагов, на одном конце соединенных шарниром из изоляционного материала, а с другого конца связанных пружиной через изоляционные втулки (рис. 3.1). В этих рычагах посередине зажимают свариваемые детали – провода, втулки, стержни, соприкасающиеся благодаря сжимающейся пружине. Ток, проходящий по деталям, нагревает место стыка до пластического состояния, и под действием пружины металл сминается. Степень смятия устанавливают стопорным винтом.



*Рис. 3.1. Схема первой установки для контактной сварки:  
1 – рычаги; 2 – шарнир; 3 – зажим; 4 – свариваемые детали; 5 – стык;  
6 – стопорный винт; 7 – пружина*

В следующей установке был использован трансформатор с замкнутым контуром (рис. 3.2). На его первичную обмотку подавалось напряжение 600 В, и по ней протекал ток силой 20 А. Эту обмотку наматывали на катушку диаметром 305 мм. Катушку охватывал и виток вторичной обмотки (по сути, кольцевой проводник), концы которой подключали через зажимы к свариваемым деталям. По сварочной цепи протекал ток 12 000 А при напряжении 1 В.



*Рис. 3.2. Схема установки для контактной сварки, снабжённой трансформатором с замкнутым контуром:*

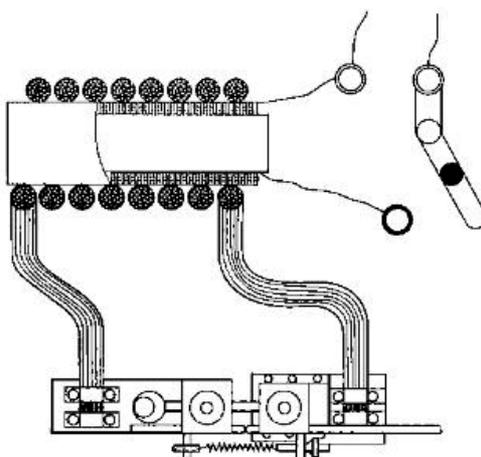
*1 – первичная обмотка; 2 – сердечник; 3 – виток вторичной обмотки; 4 – свариваемые детали; 5 – стык; 6 – стопорный винт; 7 – пружина*

Установка Томсона с разомкнутым магнитным контуром трансформатора состояла из первичной обмотки, расположенной на цилиндрическом сердечнике из стальных прутков длиной 30 см, и восьми витков вторичной обмотки из многожильного медного кабеля, навитых по

спирали на первичную обмотку. Концы вторичной обмотки соединяли соответственно с подвижным и неподвижным зажимами (губками). Подвижную губку посредством кулачка вручную перемещали в осевом направлении [15].

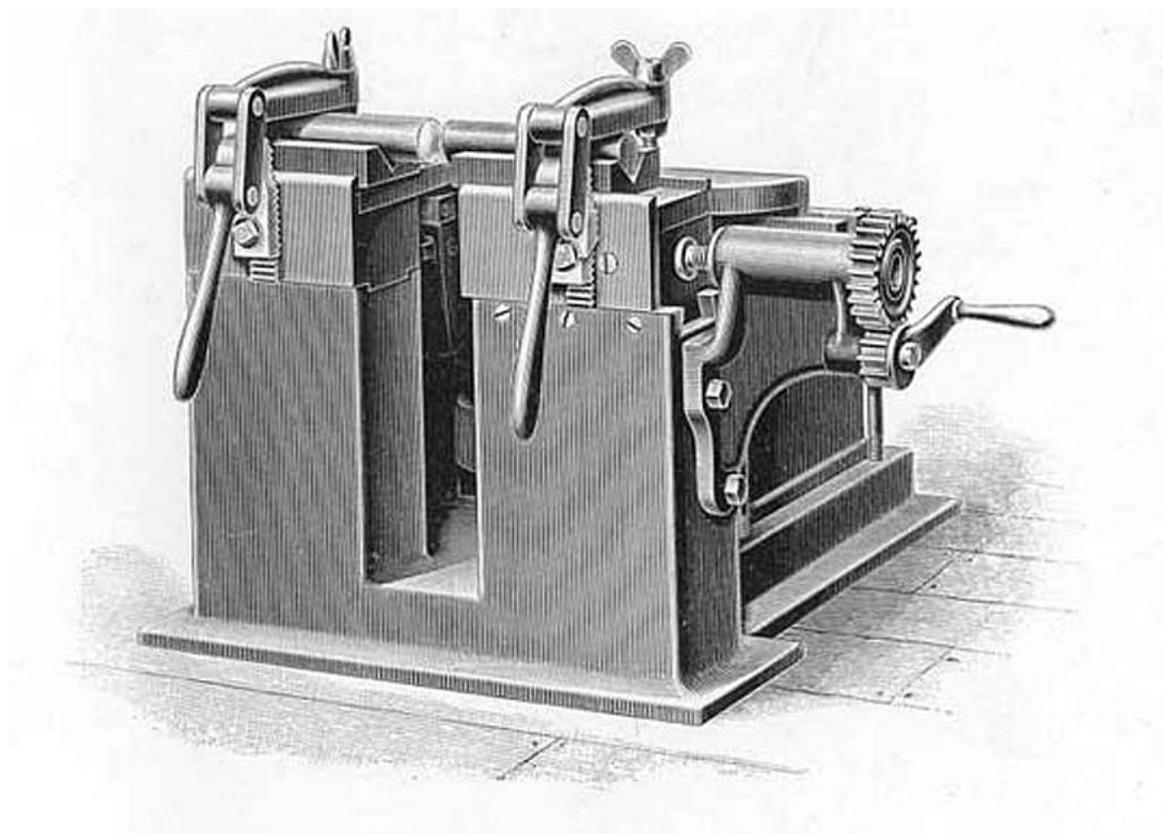
В 1885 г. Э. Томсон сконструировал динамо-машину с самовозбуждением (мощность 18,3 кВт, 1800 об/мин, масса 22,5 кг), которая обеспечивала сварочный трансформатор переменным током, имела высокую удельную мощность и работала с интервалами на подготовку к сварке. В последующие годы Томсон создает еще несколько типов генераторов, в том числе генератор с тремя обмотками, сварочный генератор для дуговой сварки по способу Бенардоса, генераторы переменного тока, питавшиеся непосредственно от электродвигателя. В 1887 г. в Париже изобретатель демонстрирует контактную сварку прутков диаметром 12 мм при токе 20 000 А, что превышало ток, применявшийся до этого в каких-либо других технологиях. Прочность соединения стальных стержней составляла 97 % прочности основного металла [15].

Э. Томсон обладал глубокими познаниями в механике и в электротехнике и эффективно использовал их при разработке контактной сварки. В 1889 г. он сконструировал установку, в которой ток прерывался синхронно с прикладываемым усилием сжатия. Происходило это при смещении тяги и подвижного зажима под действием пружины, закрепленной на неподвижном зажиме и тяге (рис. 3.3). В процессе сварки торец колодки контактировал со стопором выключателя. Для развития больших усилий изобретатель разработал аппарат с гидравлической системой. При повороте рычага в ту или другую сторону прерывалась электрическая цепь трансформатора, а на поршень оказывалось давление, передаваемое на подвижный зажим с привариваемой деталью.



*Рис. 3.3. Схема установки, снабженной трансформатором с разомкнутым контуром*

Следующим шагом в развитии стыковой контактной сварки было применение импульсов тока и давления. В механическую систему сварочной машины Томсон вводит шестерню с храповиком, рычаг, приводящий в действие подвижный зажим, соединяли с сердечником, который вводили в соленоид, включенный в первичный контур, изменяя его индуктивное сопротивление и вызывая пульсацию тока (рис. 3.4). Томсону удалось предотвратить быстро нарастающие большие токовые нагрузки при отключении тока в первичном контуре путем подключения в тот же контур параллельно пары электродов-разрядников и последовательно – плавкого предохранителя. Для этой же цели служила и катушка индуктивности [15].



*Рис. 3.4. Машина для стыковой сварки Э. Томсона*

В 1890 г. фирма «Томсон-Хьюстон» объединилась с компанией «Эдисон электрик», основанной Т.А. Эдисоном<sup>43</sup>, и получила название «Дженерал электрик компани». Эдисон, обидевшись на то, что его имя исчезло с вывески, ушел из компании, и ее президентом был назначен Ч.А. Коффин. Э. Томсон стал техническим директором и возглавил научно-исследовательскую лабораторию, которая вскоре стала известна в промышленных кругах мира как «Научно-исследовательская лаборатория Томсона». Фирма «Дженерал электрик» набирала силу и вскоре

стала лидером электротехнической промышленности в значительной степени благодаря научным исследованиям и изобретениям Э. Томсона.

До начала деятельности «Дженерал электрик» Э. Томсон уже имел около 100 патентов. В последующие несколько лет он работает еще интенсивнее, продолжая совершенствовать конструкцию узлов сварочных аппаратов и технику сварки. Установки, называемые часто «электрическими горнами», демонстрировались на ряде выставок. Стыковая сварка продолжала распространяться в промышленности США, вытесняя кузнечную сварку. Правда, некоторые из аппаратов снабжались молотом для проковки стыка сразу после сварки или роликами для прокатки. Томсон создает специализированные машины для сварки лент и прутков в процессе прокатки, для сварки звеньев цепей, велосипедных колес и др. Для повышения КПД процесса изобретатель предлагает на первичную обмотку дополнительно навивать вторичную, а вторичный контур изготавливать из медной трубки прямоугольного сечения и прокачивать для охлаждения маслом. Растет номенклатура свариваемых соединений; кроме устройств для стыковой сварки двух соосных деталей, Томсон разрабатывает узлы машин для соединений деталей под углом. В начале 1890-х гг. была разработана технология стыковой сварки не только железа и стали, но и алюминия, свинца, цинка и олова. Была отработана и конструкция типовой установки, состоявшей из источников питания, узла сжатия, узла зажима деталей и подвода тока, а также элементов охлаждения. Питание осуществляли от генераторов переменного тока мощностью 5...40 кВт, через трансформатор от Первичной обмотки. В установках были предусмотрены щиты управления системой отвода масла, реостаты и генераторы постоянного тока (до 40 А, напряжением 110 В), приводимые в действие генераторами переменного тока [15].

В конце 1892 г. Томсон организовал собственную фирму «Томсон электрик вэлдинг компании», которая развернула серийный выпуск машин для стыковой сварки различной мощности. Наиболее мощные из них применяли для сварки труб. «Легкие» сварочные аппараты использовали для сварки проволок и кабелей. При помощи стыковой сварки изготавливали режущий инструмент, валы, детали велосипедов, болты и прочее, часто из сплавов разных марок.

Фирма «Джонсон Компани» из Джонстауна (штат Пенсильвания) приобрела патенты Томсона и начала выпускать машины для сварки рельсов. Первые четыре машины мощностью 40 кВт и две мощностью 80 кВт были приобретены в 1894 г. для строительства 65 км сплошного железнодорожного полотна в разных регионах США. Мощный трансформатор, генератор, паровую машину и гидравлическую систему рас-

полагали в специальном вагоне, к которому на стрелах подвешивали соединенные гибкой шиной сварочные головки, действующие наподобие клещей. Соединяемые концы рельсов тщательно зачищали, и рельсы сдвигали вплотную. В месте стыка перпендикулярно к оси рельсов приваривали «стыковые планки», примыкающие к подошве и к нижней части шейки. Планки попарно зажимали с двух сторон клещами, ток пропускали через стыкуемый участок до тех пор, пока металл не нагревался до белого каления. Затем включали гидравлическую систему, сжимающую клещи до тех пор, пока смятый металл планок не образовывал швов вокруг стыка и между торцами рельсов. Наибольшее применение сварка рельсов нашла при прокладке трамвайных путей. К 1910 г. способ Томсона использовали и в ряде стран Западной Европы [15].

Стыковая сварка нашла эффективное применение в производстве снарядов. Большой экономии достигали за счет изготовления основной части снаряда из обычных сталей с приваркой наконечника из легированной стали. Для этого производства были разработаны специальные машины.

По мере расширения сферы применения стыковой сварки, а также в связи с совершенствованием электрической и механической частей машин увеличивался и интерес к самому процессу сварки. В частности, отмечалось, что при разработке технологии сварки необходимо учитывать особенности нагрева: первоначально нагреваются маленькие участки в точках соприкосновения, но при этом здесь увеличивается сопротивление, и ток начинает идти по другим, менее сжатым, но холодным участкам, тем самым быстро выравнивая температуру нагрева всего участка. Томсон, Коффин, Дьюи, Лемп, Раис и другие энтузиасты контактной сварки проводили оригинальные исследования, совершенствуя технологию стыковой сварки и разрабатывая новые схемы нагрева. Были предложены несколько способов комбинированной (дуговой и контактной) сварки. Ч.А. Коффин разработал технологию сварки с промежуточной угольной пластиной-электродом, подключаемой к вторичной обмотке и вставляемой на время разогрева между стыкуемыми деталями. В других устройствах между свариваемыми деталями помещали металлическую пластину, а ток подводили к концам деталей через угольные контакты. Пластины выбирали из материала с проводимостью худшей, чем у свариваемого металла, благодаря чему ускорялся нагрев. Перед сжатием вставку удаляли. Предлагался также предварительный подогрев стыка газовым пламенем. Коффин предложил также пропускать магнитное поле через свариваемый участок, считая, что это вызовет структурные изменения, приводящие к уменьшению проводимости, а, следовательно, к ускорению нагрева. Были и другие предложения,

большинство из которых оказались малоэффективными и сложными [15].

Принцип контактной сварки – нагрев проходящим током и последующее сжатие (или проковка) – использовал в «кузнечном горне для ювелиров» Э. Раис (1892 г.). Он предложил пластины, к которым нужно было приваривать орнамент из проволоки, помещать на металлическую плиту, подводя к ней ток от вторичной обмотки сварочной машины. Плиту закрывали экраном. Сотрудник Томсона Г. Лемп в 1892 г. разработал машину с новой системой подвижных зажимов с двойным набором роликов (это сократило длительность сборки и снятия изделия), а также машину со схемой соединения нескольких трансформаторов, что увеличивало мощность и КПД [15].

К концу 1890-х гг. наибольшее применение нашли машины мощностью 15...60 кВт. Работали они на переменном токе, который вырабатывали специальные генераторы. Так как в заводских распределительных сетях, как правило, проходил постоянный ток. Для машин мощностью 100 кВт, применявшихся для сварки задних мостов автомобилей и других крупных изделий, на заводах устанавливали автономные приводы генераторов (от паровых машин и дизелей). Проблема централизованного питания несколько сдерживала применение контактной сварки, хотя уже в первом десятилетии XX в. изобретения Томсона и его американских последователей были широко известны в Европе, их совершенствовали и применяли в Великобритании и Германии.

Большое распространение контактная сварка получила в 1920-х гг. с переходом заводских сетей на переменный ток при крупносерийном производстве автомобилей, бытовой техники, сельскохозяйственного инвентаря, и продолжала совершенствоваться. Сварка с предварительным оплавлением деталей нашла широкое применение при изготовлении и ремонте деталей автомобилей, самолетов и железнодорожного транспорта (коленчатых валов, втулок и ободьев колес, кронштейнов, шасси, поршней), а также инструментов. Она была принята в металлургических цехах как вспомогательная операция в непрерывном цикле прокатки прутков и полос.

Несмотря на то, что еще в 1892 г. Коффин применял сварку стержней большого сечения с предварительным нагревом вибрирующей короткой дугой, только в 1913 г. Клайншмидт из фирмы «Лорен стал компани» ввел в широкое употребление «искровой метод», получивший впоследствии название стыковой сварки непрерывным оплавлением. Он увеличил напряжение питания на головках сварочных машин Томсона, что обеспечило возникновение периодических дуговых и искровых раз-

рядов между стыкуемыми поверхностями при непрерывном сближении и оплавлении последних.

Проблеме производительности сварочных машин особое внимание уделялось в период Первой мировой войны. Тогда многими фирмами в США и Европе были улучшены стыковые машины, разработана оптимальная технология процесса.

К 1930 г. были разработаны, в частности, фирмами «Ля судур электрик» (Франция) и «Дженерал электрик», специальные машины для сварки оплавлением, обеспечивающие контроль времени выполнения технологического процесса с высокой точностью. Машина мощностью 1500 кВ·А при токе 100 000 А и усилии сжатия 2500 кН, рассчитанная на сварку встык изделий сечением до 25 000 мм, автоматически воспроизводила весь цикл сварки в течение всего времени, пока была нажата педаль. При этом оплавливают поверхность частей до того, пока все поперечное сечение равномерно не нагреется, и тогда производится стягивание стыка ударом при одновременном включении первичного тока. Существенной частью машины для сварки плавлением, таким образом, является устройство для стягивания стыка. Механическое устройство этой машины в остальном одинаково с механическим устройством простой машины для сварки встык. Машины для сварки оплавлением применяли для сварки больших поперечных сечений, для труб и высокосортных сталей [15].

В 1902 г. Э. Томсон разработал прямошовный способ изготовления труб с помощью стыковой сварки. В то же время в США фирма «А.О. Смит» наладила производство труб с толщиной стенки 5 мм и диаметром 500 мм, которые сваривали по всей длине (12 м) способом оплавления на машинах мощностью 5000 кВ·А. Было немало и других разработок, отличавшихся по виду тока, применяемым вспомогательным материалам и т. д. (патенты Фуку, Зоннихсена, Сиаки, Спалдинга, Харматы, Ритцеля, Малагути, Джонстона, Бухера и др.).

К концу 1930-х гг. технология сварки рельсов определилась по своему в разных странах. В США в основном был принят способ сварки рельсов непрерывным оплавлением. В странах Европы рельсы сваривали оплавлением с прерывистым подогревом, в процессе которого происходит чередование искрообразования и плотного контакта, достигаемого сближением и раздвижением свариваемых частей, постоянно находящихся под напряжением.

Способ сварки, отличающийся от различных приемов стыковой сварки труб рядом существенных признаков, предложили швейцарцы А. и Ю. Вайбели в 1938 г.: ток подводился к свариваемым кромкам с помощью угольных электродов, непосредственно соединенных

с трансформатором через держатель. Данный способ оказался экономичным и пригодным для сварки почти всех металлов толщиной до 2...3 мм как с присадкой, так и без нее. Например, сварку алюминиевых трубок из листов толщиной 0,2...2 мм выполняли с отбортовкой при силе тока 200...500 А, напряжении 4...9 В и скорости 0,5...1,3 м/мин.

В начале 1930-х гг. к совершенствованию стыковой сварки подключаются советские ученые и инженеры из Ленинграда, Москвы, Харькова, Нижнего Новгорода, изучившие и освоившие купленное в США и Германии оборудование для строящихся автомобильных и тракторных заводов, а также для реконструируемых предприятий. В 1933 г. ленинградским заводом «Электрик» были выпущены четыре марки машин для контактной сварки различной мощности; при этом мощность машины АСА-3 достигала 6 кВ·А, а машины АС-75 при непрерывной работе – 75 кВ·А, при прерывистой работе – 120 кВ·А (сечение свариваемого железа при открытом контуре 1800 мм<sup>2</sup>, латуни – 600 мм<sup>2</sup>).

Машины для стыковой контактной сварки и специальные машины с подобными схемами применяли не только для целей сварки, но и просто для нагревания деталей для закалки, кузнечнопрессовой обработки и для нагревания заклепок. Именно за таким оборудованием сохранилось название «электрические горны», Одна из таких машин – большая «тройная» заклепочно-нагревательная установка – была разработана в Германии. Заклепки между нагревательными электродами вводили при помощи ножного рычага. Заклепку можно было нагревать как угодно, если нужно, можно было нагреть одну головку, один стержень или же головку и стержень вместе, в любое время нагревание можно было прекратить и снова возобновить. «Электрические горны» экономили уголь и материал и обеспечивали использование теплоты в 90 % против 10 % использования в угольном или газовом кузнечном горне.

В 1956...1968 гг. во ВНИИЭСО были разработаны и переданы Новоуткинскому заводу «Искра» для серийного производства новые стыковые машины МС для сварки сопротивлением и оплавлением, которые заменили морально устаревшее оборудование типа АСИ, АСИФ и МСР [16].

Систематические работы в энергетическом машиностроении по совершенствованию технологии и оборудования для стыковой сварки труб поверхностей нагрева из аустенитных и теплоустойчивых перлитных сталей выполнялись главным образом в ЦНИИТМАШе под руководством А.С. Гельмана в содружестве с таганрогским котлостроительным заводом «Красный котельщик», Белгородским котлостроительным заводом и Подольским машиностроительным заводом. Благодаря усо-

вершенствованию технологии сварки оплавлением, созданию и широкому внедрению специализированных стыковых машин серии ЦСТ существенно повысилось качество сварки труб. С целью контроля технологического процесса сварки был создан прибор ЦПК-7п, контролирующей основные параметры оплавления и осадки, с блокировкой, предупреждающей возможность продолжения сварки при выходе этих параметров из заданного диапазона [16].

Широкое применение в котлостроении нашли также автоматы типа ЦШ для Т-образной приварки шипов, количество которых только в одном котле достигает 1,5 млн.

В металлургической промышленности с целью повышения производительности и степени автоматизации процессов непрерывной переработки листовой стали в линиях холодной прокатки, нанесения покрытий, для увеличения развеса рулонов и длины полос, а также в цехах по производству сварных труб, заготовка для которых непрерывно формируется из бесконечной ленты, широко применяют стыковую сварку оплавлением.

Для соединения полос из многих марок сталей и алюминиевых сплавов толщиной от 0,4 до 6...12 мм и шириной 60...2350 мм во ВНИИметмаше были разработаны высокопроизводительные режимы сварки и серия стыкосварочных машин типа Л-120, Л-300, Л-500 и Л-1700.

Послевоенные годы ознаменовались значительными успехами в развитии оборудования для стыковой сварки оплавлением. В 1951...1954 гг. Институтом электросварки совместно с предприятиями Главнефтепроводстроя были разработаны, изготовлены и получили широкую производственную проверку на различных объектах строительства магистральных трубопроводов первые советские агрегаты для стыковой сварки труб диаметром до 529 мм в полевых условиях. Один из таких агрегатов типа КТСА-7 состоит из наружной охватывающей сварочной головки с разъемным кольцевым трансформатором, специального трактора, передвижной электростанции, внутреннего гратоснимателя, устройства для удаления наружного грата и механизма для зачистки поверхностей труб под контактные башмаки [16].

В дальнейшем в процессе совершенствования этого оборудования были созданы новые оригинальные конструкции внутритрубных машин для сварки магистральных трубопроводов диаметром 820...1420 мм. Такие машины располагаются внутри трубопровода и самостоятельно перемещаются по нему по мере сварки от стыка к стыку.

Важным этапом в истории развития оборудования для контактной стыковой сварки явилось изготовление в 1943 г. на заводе «Ревтруд»

под руководством С.Е. Синадского первого высококомобильного ремонтного поезда, сваривавшего ежегодно до 30...50 тыс. рельсовых стыков. Это было первой удачной попыткой создания на базе стыкосварочной машины комплексной поточной линии, включающей вырезку пригодных для дальнейшей эксплуатации кусков поврежденных или изношенных рельсов, их сварку, удаление грата и шлифовку стыков, разрезку образующейся непрерывной плети на мерные длины, сверление отверстий для крепления накладок и др. Большинство этих операций выполнялось вручную или средствами «малой» механизации, но, несмотря на это эффективность такой линии была весьма высокой. Уже в 1946...1948 гг. более десятка рельсосварочных поездов успешно использовались в восстановлении разрушенного войной железнодорожного хозяйства страны [16].

Основные принципы, положенные в основу создания рельсосварочных машин, были использованы при разработке оборудования для сварки бурильных труб, а также обсадных труб непосредственно над устьем скважин, стационарных стыковых машин для сварки заготовок проката, специализированного оборудования для сварки кольцевых изделий различного назначения и др.

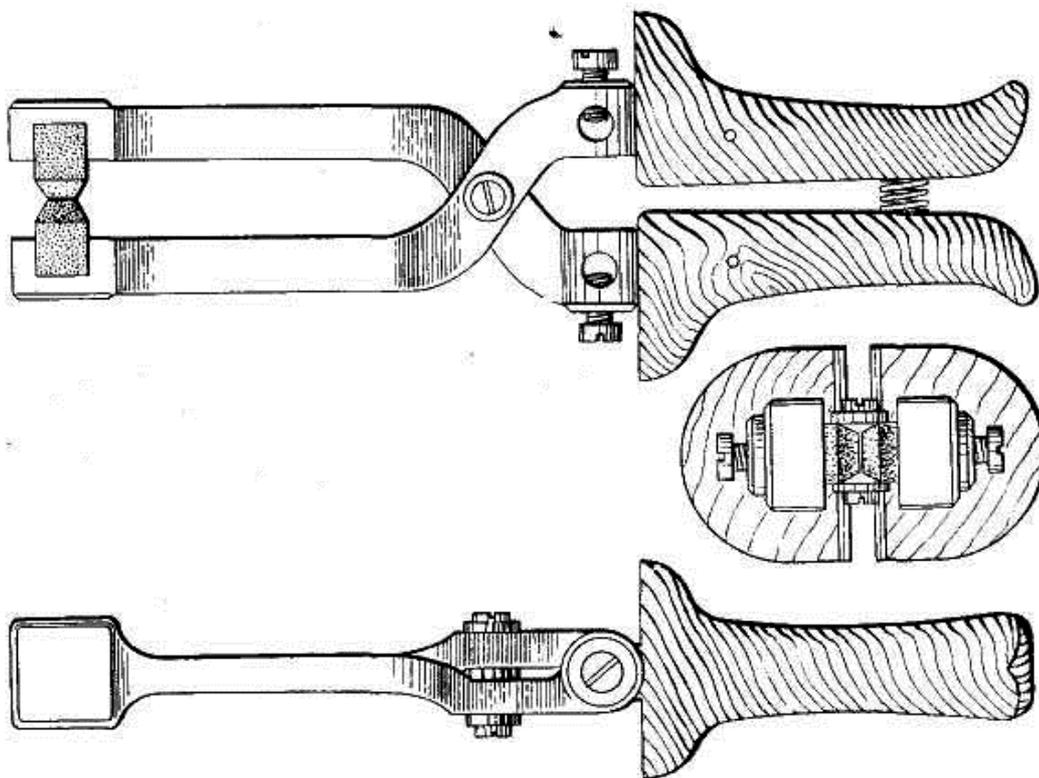
### **3.2. История развития точечной шовной и рельефной сварок**

Нагрев места стыка двух деталей проходящим через них электрическим током характерен для всех способов контактной сварки. Вторым существенным признаком этого вида сварки является обязательное приложение усилия сжатия контактируемых деталей. По характеру приложения такого усилия и типа соединения различают стыковую, точечную, шовную (роликовую) сварку и другие способы. Э. Томсон и его коллеги в США разрабатывали технологию стыковой контактной сварки и не пытались изменить характер приложения силы и форму соединения, несмотря на то, что прототипом нового способа контактной сварки мог послужить самый распространенный в XIX в. вид неразъемного соединения – клепка.

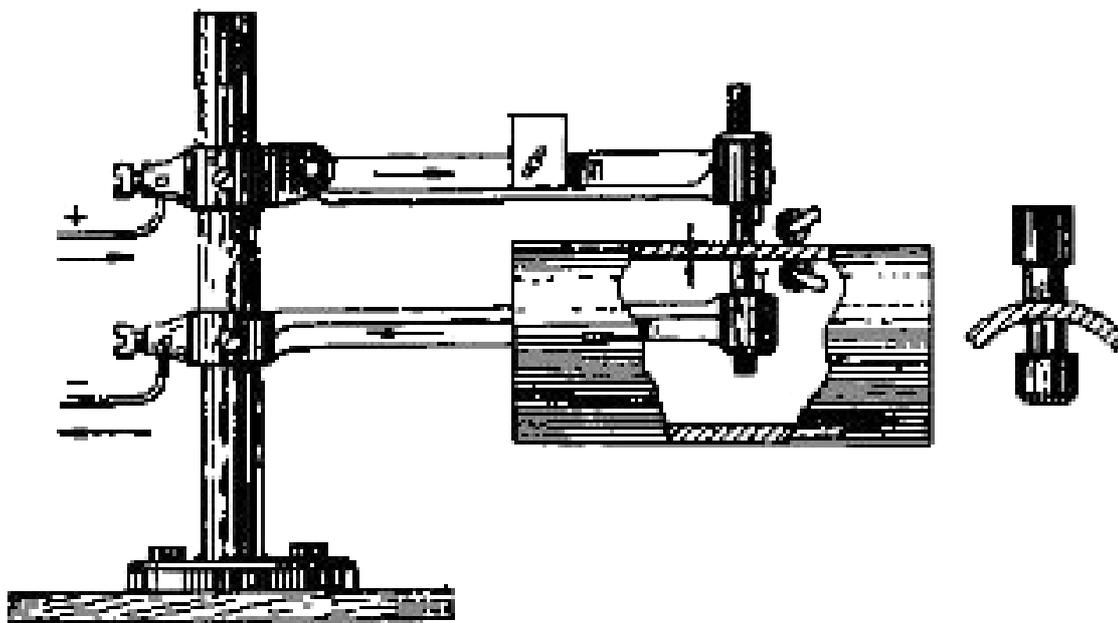
Неизвестно, когда и при каких обстоятельствах пришел Н.Н. Бенардос к принципу точечной контактной сварки. Первый в мире патент на этот способ (и «прибор» для его реализации) был выдан на его имя в Германии: № 46776-49 от 21.01.1888 г. В качестве электродов служили графитовые бруски, вставляемые в клещи, которые сжимали вручную (рис. 3.5) [17].

В заявке на изобретение, поданной в России, Бенардос подробно описывает технологию и предлагает несколько устройств для точечной

сварки. Так, один из «приборов» выполняли в виде стойки, на которой укрепляли изолированно друг от друга кронштейны: нижний жестко, а верхний – на шарнире (рис. 3.6).



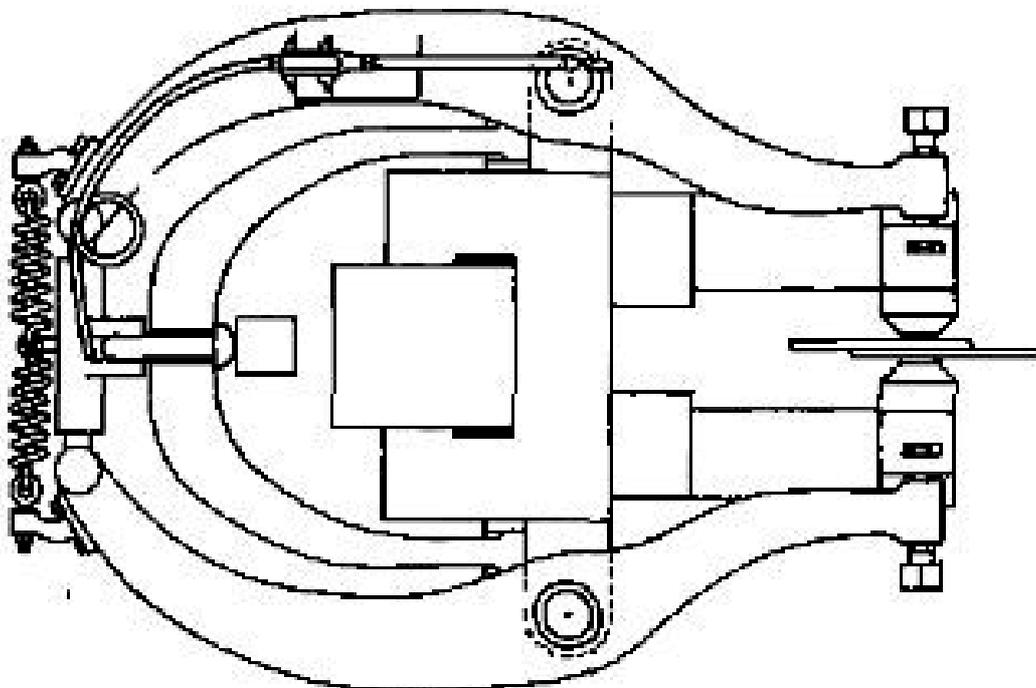
*Рис. 3.5. Клещи Н.Н. Бенардоса для контактной сварки*



*Рис. 3.6. «Прибор» Бенардоса для точечной сварки*

На концах кронштейнов, к которым подавали напряжение, крепили электроды из угля или другого электропроводного «огнеупорного тела, соответственно для этого подготовленного». Свариваемые заготовки собирали встык или со скосом кромок и заводили между электродами. При этом верхний кронштейн поднимался. Перед началом сварки этот кронштейн с электродом прижимали грузом. По мере разогревания кромок до пластического состояния или до подплавления изделие перемещали, и вслед за нагревом производилось обжатие роликами.

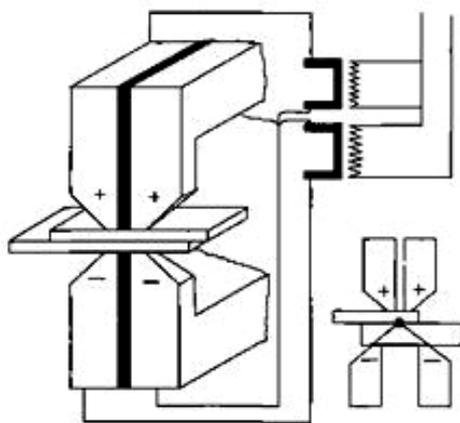
Точечная сварка продолжала развиваться. Спустя 10 лет О. Кляй-ншмидт заменил угольные электроды в «приборах» Бенардоса медными электродами и усовершенствовал устройство для сварки, встроив трансформатор в клещи (рис. 3.7) [17].



*Рис. 3.7. Клещи О. Кляйншмидта*

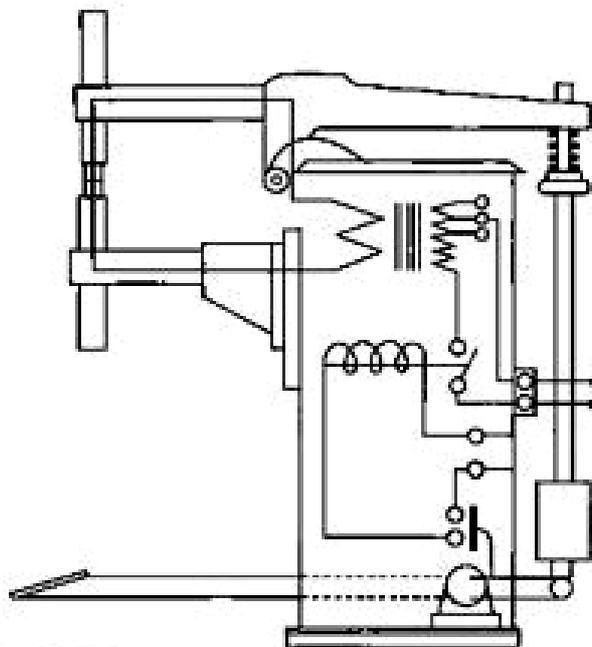
На разработку был выдан патент США № 616463 от 20.12.1898 г. С этого времени точечная сварка вышла из стадии лабораторных экспериментов, и началась работа над повышением производительности процесса. Бушайе разработал конструкции «дуплекс-электродов» для выполнения сразу двух сварных точек (пат. Франции № 330200 от 13.03.1903 г.). Верхний и нижний электродные узлы имели собственные трансформаторы. При параллельном подключении обмоток трансформаторов получается только одна точка, при последовательном включении – сразу две [15].

Оптимальную конструкцию электродов разработал Харматта (патент США № 1046066 от 3.12.1912 г.). Тейлор предложил перекрестный процесс нагрева места сварки таким образом (рис. 3.8), чтобы ток проходил по диагонали между двумя разделенными на части электродами (пат. США № 1243004 от 16.10.1917 г.) [17].



*Рис. 3.8. Схема перекрестной точечной сварки Тейлора*

Одновременно отработывали оптимальную конструкцию узлов, механические и электрические схемы машин для точечной сварки (рис. 3.9). Были разработаны машины с качающимся плечом-хоботом, мощные стационарные и легкие переносные машины, клещи разных конструкций.



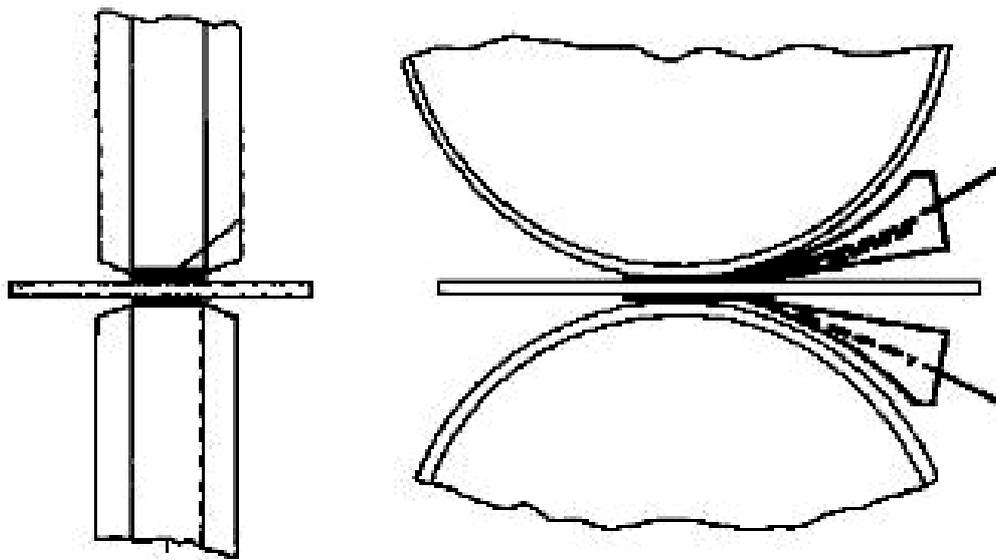
*Рис. 3.9. Схема машины для точечной сварки*

В конце XIX в. точечную сварку использовали для приварки ручек к кастрюлям и сковородкам, для изготовления других неотчетливых изделий, заменяя клепку, а иногда – пайку. Однако это малозаметное применение убедительно доказало, что точечная сварка намного производительнее клепки и что пригодна она для соединения многих металлов. Точечную сварку начали широко использовать в США в 1914 г., когда в автомобильной промышленности клепка была заменена приваркой листовых элементов автомобилей (крыльев, обшивки кузова, деталей шасси). Мощность установок колебалась в пределах 5–35 кВА. Установки имели ручное или ножное управление. К 1923 г. стационарные точечные машины позволяли сваривать до 200 точек в минуту. Использование новой технологии в массовом производстве создало возможность дальнейшего развития процесса сварки, совершенствования сварочного оборудования и даже создания новых способов сварки, таких как рельефная и роликовая. Идея рельефной сварки возникла благодаря многократному появлению «ошибочных» соединений, которые выполняли в спешке неквалифицированные рабочие. В 1918 г. Гамильтон и Оберг обратили внимание на преимущества приварки деталей сразу в нескольких местах на заранее отштампованных выступах и разработали промышленную технологию рельефной сварки [17].

В процессе изготовления изделий цилиндрической формы часто нижний опорный электрод выполняли в виде ролика, вращающегося вместе с изделием при установке в требуемое положение, а верхний – в виде короткого цилиндрического стержня. На таких машинах осуществляли точечные соединения, они же послужили прототипом машин для шовной сварки, когда свариваемые детали проходят между двумя роликами, нагреваются мощными импульсами тока, в результате чего образуется шов из отдельных перекрывающихся точек.

В 1905 г. Снурек и Гислер предложили схему многоэлектродной точечной сварки. Однако только в 1924 г. была разработана конструкция соответствующих машин, которые были применены при сборке корпусов автомобилей на заводе Форда [17].

В 1910 г. Джевансом был изобретен способ контактной сварки, заключающийся в том, что между свариваемыми кромками помещали небольшие пластинки (закладки), в которых и концентрировалась теплота. Эта технология была достаточно сложной. С целью ее упрощения как при точечной, так и при шовной сварке вместо закладок были предложены тонкие полоски (ленты), которые сматывали с катушек и подавали сверху и снизу изделия (рис. 3.10) [17].



*Рис. 3.10. Схема роликовой сварки с ленточными накладками*

В 1930 г. на верфях Германии были внедрены машины с двумя электродами и двумя трансформаторами фирмы «Оттенземер Айзенверке». Затем в короткое время различными фирмами в США и Европе были разработаны схемы многоточечной сварки – с несколькими постепенно включаемыми электродами; с одновременным включением в симметричном и несимметричном исполнении; с трансформаторами, имеющими двойную вторичную обмотку; с трансформаторами, расположенными с противоположных сторон и др. Многоэлектродными машинами можно было одновременно или почти одновременно выполнять несколько сварных точек, полностью сваривать изделие (например, узел автомобиля), не перемещая элементы и электроды до окончания процесса [17].

Для многоточечной сварки были разработаны два типа машин – многоцелевые машины и сварочные прессы. Первые были снабжены перемещающимся столом, их использовали для сварки различных изделий; вторые применяли для сварки строго определенных изделий, когда положение электродов и опорных поверхностей было фиксированным. В 30-е годы были решены многие технические проблемы; обоснованы расстояние между электродами и расположение трансформаторов, разработаны системы подвода тока, выбрано оптимальное количество одновременно свариваемых точек, установлена последовательность постановки точек и т. д. Особое внимание было уделено конструкции электродов и системам регулирования процесса сварки.

Кляйншмидт, заменив угольные электроды Бенардоса медными, обеспечил точечной сварке практическое применение. Электролитиче-

ская медь обладает большой тепло- и электропроводностью, а при механической обработке (протяжке) – удовлетворительной твердостью. Однако в результате нагрева в процессе эксплуатации прочность меди падает. Начиная с 1915 г., поиск материала для электродов велся в двух направлениях: электролитическую медь легировали с целью придания ей твердости, добываясь при этом незначительного снижения электропроводности; повышали электро- и теплопроводность сплавов на другой основе, добавляя медь. В 1925 г. были разработаны «псевдосплавы», названные «элколит», «элмет», «моллори» и т. п., получаемые путем спекания при высоких давлениях и температурах порошков вольфрама, покрытых медью. Поскольку проводимость этого материала была ниже, чем чистой меди, из него выполняли только наконечники, которые припаивали к охлаждаемому полуму стержню. В машинах для шовной сварки вольфрам-медную ленту припаивали в виде обода к торцу роликов. Однако паяная конструкция стоила дорого, и, кроме того, всегда существовала опасность плохого контакта в месте соединения из-за неточной сборки и дефектов пайки [17].

В результате поиска достаточно прочных материалов с хорошей электро- и теплопроводностью были подобраны элементы, способные образовывать твердый раствор с медью (кобальт, хром, кадмий, бериллий и молибден) при их содержании не более 1 %. Из этих сплавов начали изготавливать цельнометаллические электроды и ролики.

Серьезным недостатком первых машин для контактной сварки, особенно шовных, являлся большой расход энергии – «лишний» нагрев зоны сварки происходил из-за длительного воздействия сравнительно небольшой силы тока. В 1920 г. было предложено осуществлять подачу токов большой силы, и в машинах установили реле времени. Роликам придавалось прерывистое вращательное движение через фрикционную муфту и стопорный механизм. Для уменьшения силы тока в период перемещения изделия во вторичный контур сварочного трансформатора включался элемент индуктивности. Сердечник индуктивной катушки был связан с роликами и перемещался при их движении, возвращаясь в исходное положение с помощью пружины. Однако вскоре обнаружили, что чем больше сила сварочного тока, тем меньше точность регулирования длительности импульса. Поэтому пришлось заниматься совершенствованием системы управления.

Регулирование параметров тока и длительности сварки являются важными составляющими технологии, а аппаратура управления – существенной частью сварочных машин. В аппаратах Томсона в первичной обмотке трансформаторов находились отводы, переключением которых регулировалось напряжение во вторичной обмотке, как правило, состо-

явшей из одного витка. Продолжительность прохождения сварочного тока контролировалась электромагнитной системой, содержащей конденсатор, питаемый от резистора и включенный параллельно обмотке соленоида. В 1924 г. в схему была включена неоновая лампа, благодаря чему ток мог проходить через систему только при напряжении строго определенного уровня.

В 1932 г. в США в контактных машинах появилась система управления, основанная на тиратронах. Эта система нашла применение на машинах средней мощности (до нескольких кВА), однако при их эксплуатации обнаружилось серьезные недостатки, в частности, плохо работали прерыватели.

В 1934 г., практически с момента появления в США игнитронно-ртутных вентилях со вспомогательным (поджигающим) электродом, управляющим зажиганием основного дугового разряда, их стали использовать в сварочных машинах. В последующие годы система управления контактными машинами, основанная на игнитронах, совершенствовалась. Были разработаны схемы управления игнитронами, в которых использовали достижения электронной техники и применяли вспомогательные элементы (стабилизаторы, усилители и т. д.), а также элементы защиты [17].

В 1930-х гг. продолжали работать над проблемой перегрузки сетей однофазными машинами, что вызывало колебания напряжения. Одно из решений этой проблемы было найдено в 1941 г. братьями Марио и Давидом Сиаки: оно основывалось на применении трехфазных источников с выпрямителями.

К концу 1930-х гг. конструкция (узлы, компоновка, архитектура) контактных машин претерпела серьезные изменения по сравнению с исходными образцами. Первые машины часто выполняли, кроме прочих действий, проковку или обкатку, и в некоторых из них были предусмотрены механические командоаппараты в виде валов с кулачками. Производительность машин во многом зависела от быстродействия систем захвата и сжатия свариваемых деталей. В поисках оптимальных конструкций были опробованы гидравлические, пневматические и электромагнитные системы.

В конце XIX в. машины для стыковой сварки представляли собой сравнительно простое устройство с электрическим и механическим узлами, управление работой которых осуществляли педалью.

Первые устройства для точечной сварки имели вид клещей. Через два–три десятилетия были созданы несколько десятков различных по назначению универсальных и специализированных машин, а по разме-

рам – от огромных формовочных станов для производства труб и изготовления автомобилей до подвесных и переносных клещей.

Серьезной проблемой в развитии контактной точечной сварки явилось создание клещей, отличающихся высокой маневренностью, легкостью и быстродействием. В первое десятилетие XX в. в таких подвижных сварочных постах генераторы тока конструктивно отделялись от механических, пневматических или гидравлических устройств для позиционирования и сжатия. Длина кабеля и шланга водяного охлаждения составляла 2–3 м, и, учитывая потери, приходилось повышать напряжение вторичной обмотки сварочного трансформатора, а следовательно, его мощность и габаритные размеры.

Следующим этапом было создание клещей с трансформатором, вмонтированным в подвижную конструкцию. Возникли новые проблемы – необходимость уменьшения габаритных размеров трансформатора, увеличения удельной мощности, минимизации потерь. С этой целью были применены трансформаторы с броневой магнитной системой, в которых первичная и вторичная обмотки были навиты и защищены магнитной цепью, выполненной из листов кремнистой стали с ориентированными кристаллами. Первичную обмотку выполняли из медной проволоки, а вторичную – из литой меди с припаянными трубками-каналами для охлаждающей воды. В подвесных трансформаторах первичные обмотки чередовались с витками вторичной обмотки, что увеличило удельную мощность до 0,7–1 кВА/кг [17].

Первая технология стыковой сварки труб, разработанная в 1902 г. Э. Томсоном и получившая название «прямошовный» метод, по способу приложения давления была сходна с кузнечно-прессовой сваркой. В цельносварных трубах были заинтересованы многие отрасли промышленности и строительства. Технология их изготовления и соответствующее оборудование продолжали совершенствоваться. За два десятка лет были предприняты попытки использовать для производства труб все известные способы контактной сварки. В 30-х гг. фирма «А.О. Смит» разработала технологию сварки оплавлением и внедрила ее в производство труб с толщиной стенки 5 мм и диаметром 500 мм, которые сваривались по всей длине (12 м) на машинах мощностью 5000 кВА [17].

В контактной сварке использовали ток промышленной частоты до тех пор, пока в 1939 г. фирма «Бабкок энд Вилько Ко» не применила ток частотой 200–350 Гц. Трубы из полосового проката сваривали машинами с вращающимся трансформатором. Однако это еще не был процесс, основанный на индукционном нагреве токами, открытыми Фуко, и теоретически исследованный в 1884 г. Хевисотдом. Впервые на практике

это явление использовал в 1891 г. Э. Томсон, осуществивший индукционный нагрев листового железа. В 1900 г. была пущена в эксплуатацию индукционная плавильная печь Челлина. Началом развития процессов высокочастотной сварки считается разработка фирмой «Лоррен-Эско» в 1928 г. процесса (пат. Франции № 922431), в котором индуцированный ток концентрировался в зоне сварки ферритным сердечником. Однако основное развитие сварка токами высокой частоты получила после 1940-х гг. [17].

Много общих существенных признаков с контактной сваркой имеет и конденсаторная сварка, идея которой возникла благодаря случаю. В 1905 г. сотрудник фирмы «Вестингауз Электрик» Л.В. Чабб, экспериментируя с электрическими конденсаторами, обнаружил, что проволока приваривается к алюминиевой пластине при прохождении через них разряда накопленного электричества. Это наблюдение позволило сделать определенные выводы: разряд разрушил прочную оксидную пленку, затрудняющую пайку, и поэтому появилась возможность получить прочное соединение алюминиевых проводов. Конденсаторную сварку сразу же стали применять в электротехнике (приварка серебряных, вольфрамовых и других контактов, соединение алюминиевых и медных проводов), в ювелирном деле (приварка золотых и платиновых булавок и проволочек).

Как уже отмечалось, стыковая сварка нашла применение почти сразу после создания Томсоном первых образцов машин. Сначала это было изготовление проводов для электротехнических целей, затем – производство труб и различных стержней и, наконец, наиболее эффективное применение – производство вооружения в США, в частности, снарядов в годы Первой мировой войны. В Европе в это время наиболее активно развивала и внедряла контактную сварку немецкая фирма «Альгеймайне Электрише Газельшафт» (АЭГ). Кроме «чисто» контактных машин, эта фирма в 1930-х гг. разрабатывала и выпускала машины для приварки шпилек [17].

Контактная сварка нашла применение в самолетостроении уже в 1908 г., вскоре после того, как в ряде стран было решено использовать для основных узлов самолетов металл. При изготовлении стальных ланжеронов, стоек, раскосов, элеронов и т. д., применяли точечную и роликовую сварку. В 1928 г. фирма «Форд Мотор» внедрила контактную сварку для ответственных узлов самолетов из дюралюминия. В начале 1930 г. были проведены статические и усталостные испытания на натуральных образцах и моделях, подтвердившие возможность применения контактной сварки алюминиевых конструкций. В США с 1935 г. ее начали использовать фирмы «Боинг», «Дуглас» и «Сикорски», почти

одновременно в Европе – фирмы «Фиат» вместе с «КантьериАэронавтика д'Италия», выпустившие первый металлический итальянский самолет.

Особенно широкое применение все способы контактной сварки находят в автомобилестроении.

Г. Форду<sup>44</sup> принадлежит особая роль в развитии контактной сварки. Его заказы были стимулом для усовершенствования технологии и оборудования. В свою очередь сварка обеспечила высокие темпы производства автомобилей. В первые годы на заводах Форда выпускали до 3000 автомобилей в год, а в 1909 г. их количество достигло 10 тыс. в основном благодаря применению стыковой и точечной сварки вместо клепки.

К началу 1928 г. на заводах компании «Форд Мотор» было 320 машин для сварки оплавлением, 540 машин для точечной сварки и 25 машин для роликовой сварки. В 1928 г. на автомобиле модели «Форд-А» насчитывалось около 1300 сварных точек, на модели 1932 г. их количество составило 2000 шт. Соединение всех штампованных деталей корпуса, крепящихся к шасси, осуществлялось точечной и роликовой сваркой. В следующем году технология была усовершенствована – днище и две боковые стенки сваривали за одну операцию на машинах с двумя трансформаторами (мощностью по 250 кВ А) менее чем за 60 с, причем чистое сварочное время составляло менее 10 с. В конечном итоге развитие оборудования для точечной сварки пошло по двум направлениям – создание клещей (подвижных сварочных постов) и создание многоточечных машин (контактных машин-прессов). Также были усовершенствованы и машины для роликовой сварки [17].

Первые контактные машины в нашей стране выпущены в 1928 г. ленинградским заводом «Электрик». В 1934 г. уже было выпущено более 500 машин 16 типов для точечной и стыковой сварки.

В дальнейшем неузнаваемо изменились внешний вид, конструктивные формы, мощность и производительность контактных машин. Прогресс в области оборудования для контактной сварки определялся главным образом улучшением энергетических показателей, разработкой наиболее эффективных силовых механизмов и совершенствованием схем управления.

Бурное развитие автомобильной и тракторной промышленности, сельскохозяйственного машиностроения, строительство новых и реконструкция старых предприятий тяжелой индустрии и электротехнических заводов в годы довоенных пятилеток стимулировали количественный и качественный рост выпуска оборудования для контактной сварки. В этот период «Электрик» освоил серийный выпуск точечных машин

АТ, АТН, АТА, АТК, шовных АШ и стыковых АС, СА, ОАГ мощностью от 5...8 до 250 кВ·А. Точечные машины были оснащены пневматическим приводом взамен педального, стыковые – гидроприводом. В довоенные годы завод выпустил около 10 тысяч контактных машин различных типов. Наряду с универсальным оборудованием были разработаны первые специализированные многоэлектродные машины для точечной сварки многих деталей автомобилей, стыковые машины для сварки цепей, ободьев колес и др.

Большое влияние на развитие контактной и особенно многоточечной сварки оказал Горьковский автозавод. Контактная сварка была успешно внедрена также на московском автомобильном заводе им. И.А. Лихачева, Челябинском, Харьковском и Сталинградском тракторных заводах и на многих других предприятиях страны [17].

Несмотря на то, что выпуск контактных машин за две первые пятилетки увеличился почти в 30 раз, потребности народного хозяйства страны, развивавшегося быстрыми темпами, систематически не удовлетворялись. Поэтому по примеру Горьковского автомобильного завода на ряде предприятий был налажен выпуск различных узкоспециализированных контактных машин упрощенных конструкций, которые успешно применялись в производстве.

Наряду с отдельными оригинальными отечественными разработками контактных машин были широко использованы достижения передовых иностранных фирм, в первую очередь американских, располагавших к тому времени обширным парком самых разнообразных контактных машин и достаточно большим опытом их эксплуатации.

В годы Великой Отечественной войны объем применения контактной сварки, особенно точечной, значительно расширился. Выпуск контактных машин в рекордные сроки был налажен на Урале в поселке Новая Утка. В невероятно тяжелых условиях сплоченный коллектив новоткинцев, а также эвакуированных специалистов завода «Электрик» выпустили более 5000 контактных машин.

В послевоенный период была создана крепкая база отечественного электросварочного машиностроения. Уже к концу 50-х годов прошлого века в промышленности и на стройках страны работали десятки тысяч отечественных контактных точечных и шовных машин.

Стремительное развитие различных отраслей машиностроения, особенно авиационной промышленности, вызванное второй мировой войной, предъявило новые гораздо более высокие требования к качеству оборудования для контактной сварки и свойствам сварных швов. Поэтому уже в начале 50-х годов XX века в стране широким фронтом развернулись углубленные исследования теплофизических явлений раз-

личных процессов контактной сварки, начались систематические изыскания наиболее рациональных схем управления этими процессами, разрабатывались новые элементы конструкций и комплектующие изделия контактных машин. Эти работы были сосредоточены главным образом в Институте электросварки, ЦНИИТМАШе, на заводе «Электрик», во ВНИИЭСО, МВТУ им. Н.Э. Баумана, НИАТе, ИМЕТе им. А.А. Байкова, ВНИИметмаше, ВИАМе, на кафедрах сварки ведущих вузов, на крупнейших автомобильных заводах страны и в других организациях [17].

Задача осложнялась тем, что проводившаяся политика «холодной войны» фактически закрыла международный обмен научно-технической информацией, в том числе в области создания и производства оборудования для контактной сварки, признанного продукцией стратегического значения. Обмену препятствовала также ожесточенная конкурентная борьба между иностранными фирмами, разрабатывавшими и производившими электросварочное оборудование, тщательно охранявшими свои производственные секреты и научные достижения. В такой обстановке отечественные ученые и инженерно-технические работники ориентировались уже не на зарубежный опыт, как это было в довоенные годы, а сосредоточили усилия на самостоятельном решении актуальных задач, определяемых нуждами народного хозяйства страны.

В эти годы происходил коренной переворот в развитии оборудования для контактной сварки в стране, закладывались основы отечественного стиля конструирования контактных машин, разрабатывались оригинальные технологические процессы, возрастали производственные мощности заводов электросварочного оборудования.

Еще в конце 30-х годов прошлого века на заводах «Электрик», «Светлана», Горьковском автомобильном заводе, в комбинате Оргаметалл и других организациях были предприняты первые попытки конструирования ионных прерывателей для точечной и шовной сварки с использованием тиратронов, оказавшихся, однако, весьма несовершенными и в связи с этим не получившими тогда распространения. Важным этапом в совершенствовании аппаратуры управления точечными и шовными машинами явилась разработка по сути первых промышленных образцов регуляторов цикла сварки типа РВЭ-7, прерывателей ПИТ и ПИШ, игнитронных контакторов КИА-1, КИА-2, улучшенных пневматических силовых приводов сжатия деталей, позволивших существенно расширить технологические возможности контактного сварочного оборудования и повысить качество сварных соединений [17].

С использованием новых разработок за два послевоенных пятилетия созданы достаточно эффективные по тому времени серии контактных машин для точечной сварки МТП-75, 100, 200, прессы для рельефной сварки МРП-150, 200, 400, 600, стыкосварочные машины МСГ-300, МСГА-300, 500, подвесные точечные машины МТПГ-75, 150 и другое оборудование.

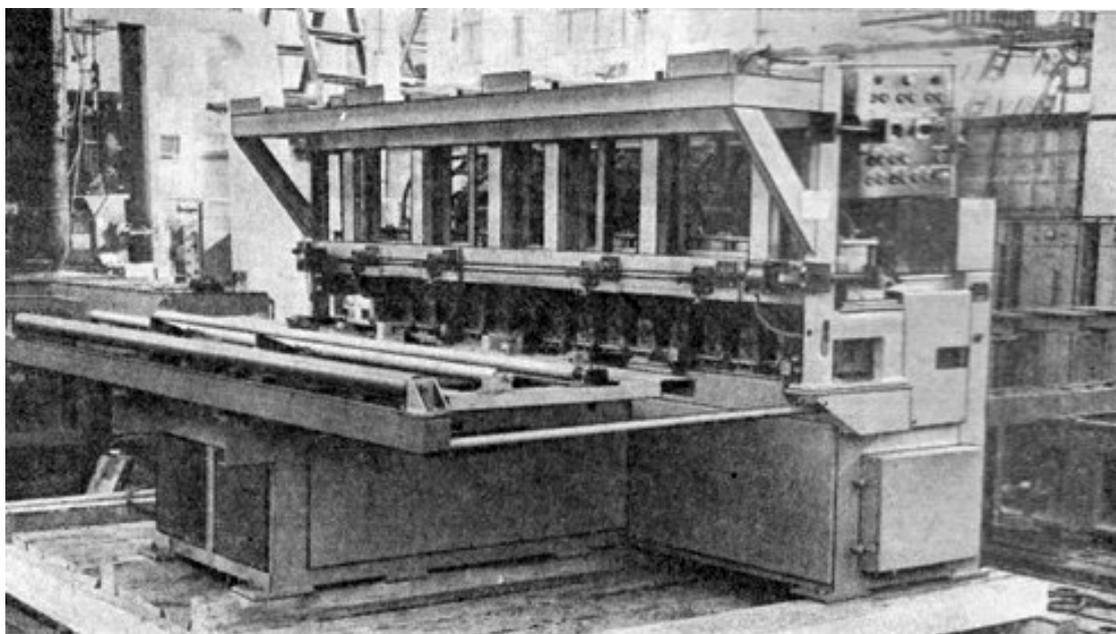
К решению проблемы контактной сварки арматуры в нашей стране приступили еще в довоенные годы. Тогда в комбинате Оргаметалл и тресте Союзстройдеталь А.И. Островским и Н.Е. Носенко была осуществлена точечная сварка пересекающихся стержней. Однако долгие годы, главным образом из-за нехватки необходимого контактного оборудования, доминирующим процессом изготовления арматуры была ручная дуговая сварка. В послевоенные годы полукустарным образом были разработаны отдельные иногда весьма эффективные образцы контактных машин для сварки арматуры.

Так, в конце 50-х годов, когда строительство грандиозных круглых колонн для фасадов монументальных зданий было особенно популярным, московский слесарь-новатор А.М. Квасов сконструировал оригинальную высокопроизводительную контактную машину, позволяющую изготавливать цилиндрические каркасы из прутков диаметром 10...16 мм и проволоки 4...6 мм. Позже, в связи с изменением архитектурного стиля, надобность в массовом производстве цилиндрических каркасов такого рода отпала, и это направление не получило дальнейшего развития. Были созданы новые типы оборудования для изготовления рациональных плоских и прямоугольных арматурных конструкций. В те же годы строительная индустрия впервые получила промышленные образцы машин для многоточечной сварки сеток и плоских каркасов из пересекающихся арматурных стержней малых и средних диаметров типа МТМК-2×150 и АТМС-14×75. Эти машины были оснащены механизмами для автоматической подачи поперечных прутков, приводами перемещения сеток на требуемый шаг и др.

Основным технологическим процессом при производстве арматурных конструкций железобетона является контактная сварка. Завод «Электрик» и ВНИИЭСО разработали и организовали производство новых контактных одно- и многоточечных машин МТ, МТМ, МТП и др. Была разработана и выпускалась серийно на Псковском заводе тяжелого электросварочного оборудования многоэлектродная машина для сварки тяжелых арматурных сеток шириной до 3000 мм из стержней диаметром до 32 мм (рис. 3.11) [17].

Создание оборудования для контактной сварки шло по пути разработки автоматов для сварки каркасов с широким диапазоном типораз-

меров, автоматизированных линий для сварки сеток на базе серийных сварочных машин, технологических линий для сварки мелкоячеистых и тяжелых сеток, машин специального назначения.



*Рис. 3.11. Многоэлектродная машина для сварки тяжелых арматурных сеток*

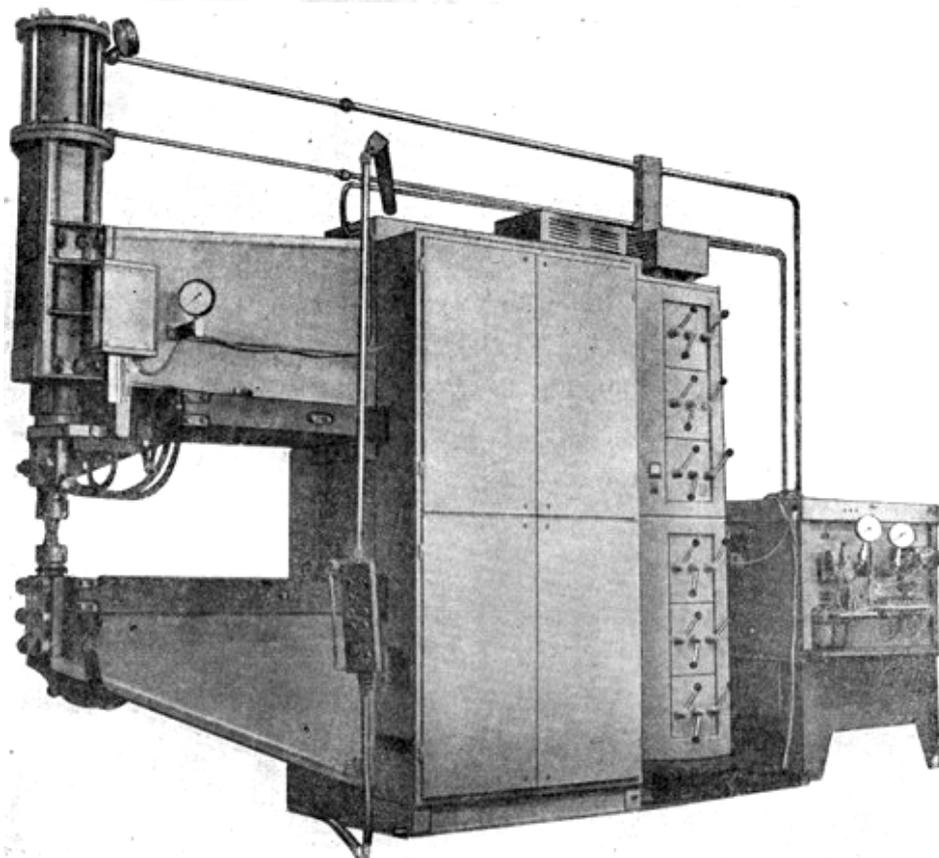
Для сварки конструкций и узлов, которые не могут быть поданы к стационарным точечным машинам, было создано переносное сварочное оборудование. Завод «Электрик» выпускал портативные сварочные клещи разных типов мощностью от 75 до 150 кВ·А и производительностью до 80 точек в минуту, а также подвесные машины для точечной сварки деталей толщиной от 2+2 до 4+4 мм. Институтом электросварки была разработана серия подвесных машин и клещей различных конструкций для точечной сварки листов и пересекающихся арматурных стержней в монтажных условиях. НИАТ и Горьковский автомобильный завод создали несколько типов узкоспециализированных шовно-точечных и точечных подвесных машин для нужд авиационной и автомобильной промышленности.

Успешное решение задачи создания крупногабаритных конструкций ответственного назначения из легких сплавов могло быть достигнуто только при условии широкого применения контактной сварки. С увеличением размеров таких конструкций, определяющих конфигурацию вторичных сварочных цепей точечных машин переменного тока промышленной частоты, резко возрастает их активное и особенно индуктивное сопротивление. С целью обеспечить получение кратковременных импульсов больших сварочных токов при умеренном потреблении

мощности ВНИИЭСО и завод «Электрик» в 1959...1960 гг. разработали и организовали серийное производство низкочастотных машин для точечной и шовной сварки типа МТИП, МТПТ, МШШТ, МШШ мощностью 300, 450, 600 и 1000 кВ·А. В основе оригинальной электрической схемы этих машин, выгодно отличающейся от разработок фирмы «Сиаки», лежал принцип преобразования трехфазного переменного тока в отдельные импульсы униполярного тока, последующего их трансформирования и подачи в сварочный контур [17].

Однако, несмотря на относительно малое сопротивление вторичного контура, мощность, потребляемая из сети при сварке деталей большой толщины, например деталей из алюминиевых сплавов толщиной 6...7 мм, оставалась еще очень высокой и достигала 1000 кВ·А.

Дальнейшим этапом в развитии контактной сварки изделий из алюминиевых сплавов явилось создание ряда машин постоянного тока (рис. 3.12) взамен низкочастотных, что стало возможным благодаря разработке надежных полупроводниковых диодов, рассчитанных на большие токи. Питание сварочной цепи постоянным током является очень перспективным, особенно при сварке крупногабаритных деталей средней толщины из цветных, а также черных металлов.



*Рис. 3.12. Машина для контактной точечной сварки постоянным током крупногабаритных конструкций из специальных сплавов*

Серийное производство разработанных во ВНИИЭСО точечных и шовных машин МТБ и МШВ, обеспечивающих получение импульсов постоянного тока 40, 63, 80, 100 и 160 кА, было освоено на заводе «Электрик», Псковском заводе тяжелого электросварочного оборудования.

Наряду с этими разработками ВНИИЭСО продолжало исследования по совершенствованию технологического уровня и качества точечных, рельефных и шовных машин общего назначения. Уже в 1957 г. устаревшие машины типа АТП и МТМ мощностью от 5 до 100 кВА были заменены более совершенными моделями серии МТПР с радиальным ходом электродов. Благодаря использованию игнитронных асинхронных контакторов и электронных регуляторов времени вместо электро-механических контакторов и механических кулачковых регуляторов времени были улучшены эксплуатационные характеристики машин, повысилась точность отсчета времени и, следовательно, стабильность качества сварки [17].

В 70-х годах XX века на базе этих машин была разработана серия оборудования нового поколения для точечной, рельефной и шовной сварки типа МТ, МШ, МР, а также ряда машин специального назначения, обеспечивающих получение тока от 6,3 до 100 кА. Новое оборудование, укомплектованное системой управления на элементах «логика», позволяет стабилизировать и модулировать импульсы тока, осуществлять подачу серии импульсов, производить термообработку сварных соединений.

В 60-х годах прошлого столетия Институтом электросварки также был создан ряд автоматических регуляторов режимов сварки, усовершенствованы схемы программного управления контактными машинами. Конструкции декатронных регуляторов, в которых время отсчитывается с весьма высокой точностью коммутаторными декатронами по числу периодов питающей сети, обеспечивали полное соответствие между устанавливаемой и фактически отрабатываемой длительностью отдельных операций.

Для точечных и шовных машин с синхронными игнитронными контакторами был разработан универсальный игнитронный прерыватель. В те же годы разработаны системы управления контактными машинами без традиционных переключателей с заданием программ при помощи перфокарт и обратной связью по регулируемому воздействию. Режимы сварки точечных машин, укомплектованных игнитронными

прерывателями с программным управлением, записывались в двоичном коде на неподвижных стандартных перфокартах, что существенно повысило технологическую дисциплину, облегчало настройку и обслуживание оборудования. Для трехфазных низкочастотных машин создана цифровая система управления, позволяющая в широких пределах регулировать длительность и последовательность включения отдельных операций, частоту и модуляцию импульсов сварочного тока. Применение цифровых систем управления на автомобильных заводах значительно повысило производительность контактной сварки, достигающую, например, при сварке боковин и других деталей кузова 300...330 точек в секунду, и качество соединений.

В области разработки и производства аппаратуры управления контактными машинами также произошли коренные изменения. На смену электромеханическим реле, электронным и газоразрядным лампам пришли полупроводниковые приборы. На этой новой базе были разработаны комплексы унифицированных узлов аппаратуры, и на их основе созданы системы управления серийным и специализированным оборудованием для различных видов контактной сварки.

В 1970 г. прошлого века для централизованного производства новой аппаратуры в отрасли электросварочного оборудования выделен Симферопольский электромашиностроительный завод. Расширилось производство сложных цифровых систем управления специализированных сварочных машин и автоматизированных сварочных линий на заводе «Электрик» и Псковском заводе тяжелого электросварочного оборудования.

Непрерывное совершенствование точечных машин, сокращение длительности сварочного цикла позволили сваривать до нескольких сотен соединений в минуту. Реализовать такую высокую производительность оказалось практически невозможным главным образом из-за большой длительности загрузки ориентации свариваемых изделий в электродах машин. Наиболее полно практически неограниченная производительность процессов точечной и рельефной сварки была реализована в результате механизации и автоматизации всего комплекса сборочно-сварочных и вспомогательных операций на базе различных типов деталей в автомобильной промышленности, вагоностроении, строительной индустрии, сельскохозяйственном машиностроении и других отраслях промышленности. На Горьковском автомобильном заводе в течение суток выполнялось более четырех миллионов соединений. На Калининском вагоностроительном заводе, например, было создано несколько поточных линий для изготовления основных узлов цельнометаллических пассажирских вагонов с применением оригинальных мно-

готовечных контактных машин, разработанных конструкторами этого завода. Широко использовалось более 30 типов многоточечных контактных машин производства завода «Электрик» для сварки узлов и деталей комбайнов «Колос», «Нива», «Сибиряк» и др. [17].

Создание автоматической поточной линии сборки и многоточечной сварки цельнометаллической кабины грузового автомобиля на московском автомобильном заводе им. И.А. Лихачева позволило почти в 3 раза снизить трудоемкость ее изготовления, более чем в 2 раза повысить производительность труда и существенно улучшить стабильность качества сварных соединений.

Заметный эффект дала и автоматизация процесса с механизированным перемещением деталей при последовательной сварке многоточечных соединений.

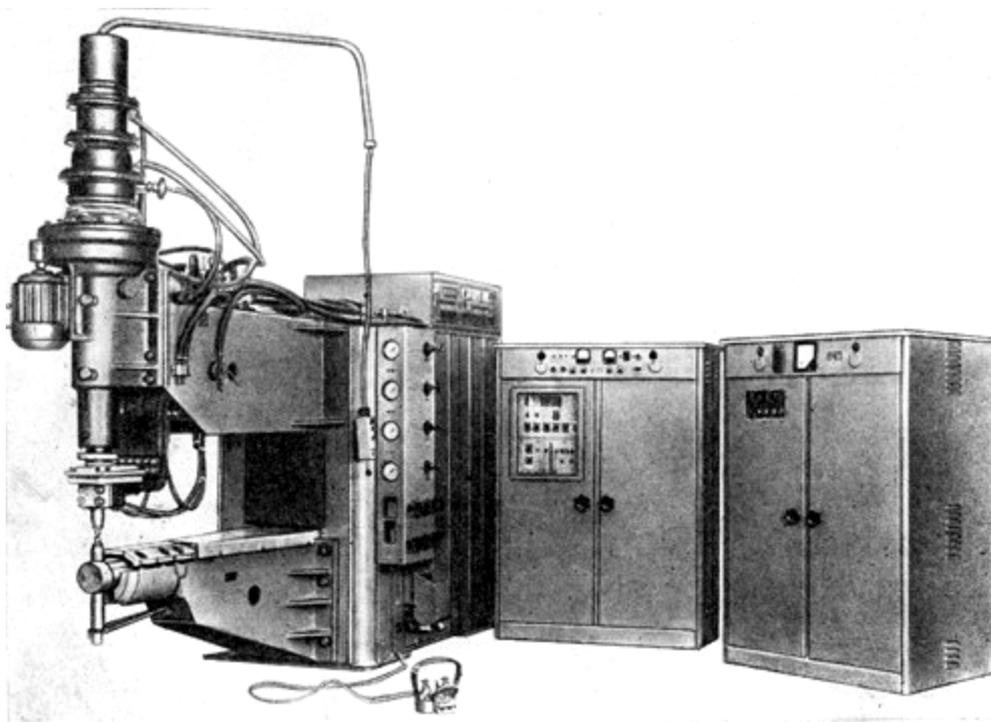
Очень перспективно применение сварочных автоматов-роботов. Такой «робот» представляет собой установку с маневренной одноточечной головкой, механизмом для перемещения головки в заданное положение по отношению к свариваемым деталям и автоматикой, включающей схему электронной памяти. При настройке процесса сварки того или иного узла все операции по перемещению сварочной головки из одного положения в другое в ходе последовательной сварки отдельных точек, а также по изменению параметров режима сварки (если это необходимо) фиксируются электронной памятью установки. Сам свариваемый узел при этом, как правило, жестко закреплен и неподвижен. После соответствующей настройки по расположению точек и режиму их сварки «робот» переключается на автоматическую работу и благодаря наличию электронной памяти точно воспроизводит все операции с повторением всего цикла неограниченное число раз. При изменении конфигурации свариваемого узла настройка «робота» повторяется, и установка легко перенастраивается на новый цикл операций.

Сварочный «робот» обладает рядом преимуществ даже по сравнению с наиболее производительными многоэлектродными машинами, используемыми в условиях массового производства.

Характерной особенностью сравнительно короткого периода развития контактной сварки в стране явилось появление ряда интересных разработок, многие из которых успешно, часто в весьма значительных масштабах и с большим экономическим эффектом, применяются в промышленности. Идея использования энергии, накопленной в конденсаторах, для сварки металлов была сформулирована и разработана Г.И. Бабатом еще в 1934 г. Однако только бурное развитие радиотехнической промышленности и связанное с этим массовое применение электронных элементов, организация производства дешевых конденсаторов

создали благоприятные условия для широкого применения конденсаторной сварки. Первые образцы конденсаторных машин, пригодных для промышленного использования, были разработаны и изготовлены в 1946...1950 гг. творческими коллективами, работавшими независимо друг от друга под руководством В.Э. Моравского и Н.Л. Каганова, а также В.П. Зотовым [17].

В 1973...1975 гг. ВНИИЭСО была разработана новая мощная конденсаторная машина типа МТКВ для точечной сварки изделий сравнительно больших толщин из легких сплавов, титана и специальных сталей (рис. 3.13). Принципиально новая схема этой машины позволила расширить технологические возможности конденсаторной сварки для соединений деталей сравнительно больших толщин, опровергая тем самым правомерность существования связанного с ней понятия «микросварка».



*Рис. 3.13. Машина для конденсаторной точечной сварки алюминиевых сплавов больших толщин*

Наряду со значительными успехами отечественных ученых и инженеров в области разработки и производства оборудования для контактной сварки все же необходимо отметить, что иногда уровень отдельных отечественных контактных машин существенно уступает зарубежным не только в эстетическом отношении, но и по основным технико-экономическим показателям [17].

## 4. Сварочные процессы, использующие тепло химических реакций

### 4.1. Разработка процесса газовой сварки и резки

В конце XIX в. и первые десятилетия XX в. электротехнологии не были распространены достаточно широко. Время торжества электро-сварки еще не наступило, потому что электроэнергия оставалась дефицитной; известные способы сварки не были универсальными и мобильными, а удовлетворительное качество переплавленного металла обеспечивалось ценой большей трудоемкости. Но без сварки уже нельзя было обойтись, и в начале XX в. возник еще один способ (причем не только соединения металлов, но и быстрого эффективного разъединения) – основанный на использовании теплоты ацетилено-кислородного пламени.

Попытки использовать горючие газы для сварки металлов плавлением (т. е. без приложения давления) предпринимались неоднократно. Но необходимые для этого температура пламени и концентрация теплоты достигаются только при сжигании горючих газов или паров жидкости в смеси с кислородом, промышленное получение которого было налажено только в начале XX в. Тем не менее, применение газового нагрева (с воздушным дутьем) для пайки и сварки известно с древних времен.

Большое значение для развития сварки и резки металлов имеют водород и ацетилен. В 1766 г. английский физик и химик Г. Кавендиш<sup>45</sup> исследовал физические и химические свойства водорода. Перспективный способ получения водорода и кислорода путем электролиза воды предложил Г. Дэви в 1802 г. В 1840 г. немецкий химик Д. Рихман разработал аппарат для получения водорода, выделяющегося при взаимодействии азотной кислоты с цинком. Водородным пламенем, образующимся на выходе из специальной горелки, удавалось паять и сваривать легкоплавкие металлы. В лабораторных условиях часто использовали как водородно-воздушное, так и водородно-кислородное пламя, причем последнее имело температуру 2600 °С и могло расплавить золото, серебро и платину. В 1888 г. Д. Лачинов разработал мощный электролизер для разложения воды, и благодаря этому водород и кислород стали более доступны. Область их применения до конца XIX в. почти не расширилась, несмотря на то, что уже существовали промышленные способы сжатия газов, а в 1896 г. немецкий инженер Э. Висс изобрел сварочную водородную горелку [10].

Тем временем в поле зрения техников попадает ацетилен – газ, теплота сгорания которого более чем в пять раз превышает теплоту сгорания водорода. В 1836 г. английский ученый Э. Дэви<sup>46</sup> впервые получил из карбида кальция газ, названный им бикарбонатом водорода, а в 1860 г. французский химик П.Э.М. Бертло<sup>47</sup> дал точную формулу и современное название этого газа – ацетилен. Однако в то время карбид кальция был дорогим химическим соединением, получаемым только в лабораторных условиях, и потребовалось несколько десятков лет, чтобы найти дешевый промышленный способ его производства [10].

В то же время велась работа и над совершенствованием технологии газовой сварки металлов. Французский изобретатель Д. де Рисимен заменил каменноугольный газ водородом, в результате чего повысились температура и концентрация пламени (пат. Франции № 11307 от 24 августа 1838 г.).

Параллельно с поиском газов для сварки велась работа по созданию надежного оборудования. В первую очередь необходимо было сконструировать горелку, которая обеспечивала бы хорошее смешение газов с кислородом, высокую концентрацию теплоты на выходе из сопла и взрывобезопасность. Одним из первых (1802 г.) заслуживающих внимания устройств была горелка американского изобретателя Р. Хейра для получения водородно-кислородного пламени. В Германии в 1820 г. газовую горелку создал А. Брок. Для предохранения от обратного удара (потока горящего газа внутрь системы) в 1847 г. им была установлена диафрагма в водородном канале, через которую газ выдавливался в наконечник горелки и выходил наружу. Водородно-кислородное пламя долгие годы применяли для пайки платины, золота, серебра. В 1850 г. во Франции С.К. Девиль создал горелку, в которой водород и кислород смешивали в сопле [10].

Что касается карбида кальция, то для его промышленного производства применяли электричество. В 1892 г. Дж.Т. Морехед и Т. Вильсон, создатели фирмы «Вильсон алюминий» произвели первую промышленную плавку карбида. В 1900 г. Дж. Т. Морехед преобразовал эту компанию в «Юнион Карбайд корпорейшн», создав мощную индустрию производства карбида. В это же время в Европе электроплавку карбида произвел А. Муассан. Себестоимость карбида снизилась в тысячу раз, что позволило начать его промышленное использование [16].

А.Ле Шателье<sup>48</sup> рассчитал, что температура сгорания смеси равных объемов кислорода и ацетилена достигает 4000 °С. В 1895 г. в сообщении для Парижской академии наук он отметил, что это пламя является интенсивным источником нагрева и в нем не окисляется расплавленное железо, что очень важно для сварки.

В 1896 г. была решена проблема хранения и транспортировки сжатого ацетилена. Г. Клауд, инженер Французского отделения компании «Томсон-Хьюстон», обнаружил, что ацетилен может растворяться в жидкостях, подобно углекислому газу. А. Абаканович и А. Гесс закачали ацетилен под давлением 2,5 МПа в баллоны с ацетоном (пат. Франции № 257697 от 30 июня 1896 г.). В феврале 1897 г. уже была основана компания «Френч Ацетилен Диссолвед», сыгравшая заметную роль в создании оборудования и технологии современной газовой сварки и резки [18].

Транспортировка ацетилена оказалась относительно безопасной, и газ начали активно применять в промышленности и в быту. В 1898 г. спрос на карбид кальция во Франции уже превысил его производство. К 1900 г. ацетилен применяли для домашнего освещения, он горел в шахтерских лампах и автомобильных фарах.

Известные в то время горелки, в которых кислород и ацетилен смешивали снаружи, при выходе из сопла, оказались неработоспособными. Из-за плохого горения образовывался твердый плотный нагар углерода, засорявший газовый канал.

Идею создания конструкции со смесителем ацетилена и кислорода внутри горелки Ч. Пикару, работавшему во «Френч Ацетилен Диссолвед», подал А.Ле Шателье. Для работы этой горелки требовалась подача ацетилена под избыточным давлением, т. е. использовали ацетилен из баллонов.

Кроме централизованного производства и транспортировки ацетилена в баллонах, газ получали на месте из карбида кальция в ацетиленовых генераторах. Только в Великобритании в 1895–1900 гг. было запатентовано больше 300 типов таких генераторов. Однако газ из генераторов выходил под нормальным давлением, и применять их при сварке горелками Пикара было опасно.

Для использования ацетилена из газогенераторов Э. Фуше разработал горелку с инжектором, через которую подавался под давлением кислород (пат. Франции № 325403 от 18 октября 1902 г.). Спустя два года горелки с инжектором использовали не только для сварки, но и для резки, повышая давление кислорода на выходе из дополнительных каналов [18].

В горелках Фуше, названных «Сириус», ацетилен перемешивали с кислородом в два этапа: внизу в одной трубке и вверху, в пучке трубок небольшого диаметра, что предотвращало обратное движение пламени в первую, всасывающую трубку, через которую проходила смесь практически невзрывоопасного состава.

В 1902 г. стали внедрять ректификационные аппараты для разделения воздуха на составляющие по способу немецкого физика К. Линде<sup>49</sup>. Это открыло возможности для широкого применения кислорода в технике. Таким образом, к началу XX столетия усилиями многих ученых и изобретателей был создан еще один способ соединения металлов – ацетилено-кислородная сварка [18].

Серьезным преимуществом этого способа по сравнению со способами дуговой сварки была возможность просто и эффективно получить металл шва удовлетворительного качества, защитив зону сварки от воздействия воздуха. Кроме того, газосварочные установки были автономны, подвижны, несложны в эксплуатации, энергия вырабатывалась на месте сварки и резки (отсюда и название «автогенная», т. е. «саморождающаяся»).

Как отмечали Гранжон и его соавторы по ряду научно-методических пособий, «автогенная» сварка – это способ соединения однородных металлических предметов, соприкасающиеся части которых нагревают с помощью газовой горелки до температуры плавления металла. Сплавляясь между собой, после остывания они дают шов, близкий по своему строению к основному металлу. Такое соединение можно осуществлять либо с прибавкой металла, однородного со свариваемым, либо без него. Для очистки, главным образом от окислов, и в качестве дополнительной защиты сварочной ванны было предложено применять флюс (чаще всего борную кислоту). За короткое время была разработана технология сварки почти всех технических металлов и сплавов (железа, стали, чугуна, меди, латуни, алюминия и др.). Ацетилено-кислородное пламя заменило кислородно-водородное также и при пайке твердыми припоями [18].

Если в России, Германии, Англии, Швеции традиционно превалировала дуговая сварка, в США – контактная, то в первом десятилетии XX в. во Франции отдавалось предпочтение автогенной обработке с применением ацетилено-кислородного пламени.

В 1920 г., когда уже были электроды для ручной дуговой сварки с высококачественным покрытием, Гранжон отмечал, что «лица, хорошо знакомые со свойствами шва, получаемого при автогенной сварке горелкой, редко прибегают к электросварке, круг применения которой довольно узок».

Ацетилено-кислородные горелки Пикара и Фуше экспортировали из Франции во все промышленно развитые страны мира. В 1903 г. эти горелки использовали в Германии на судоверфях в Айзенахе, в 1905 г. в Италии в железнодорожных мастерских в Неаполе. В 1906 г. во Франции ацетилено-кислородную сварку применяли более чем в 500 цехах,

мастерских, участках. В США первым использовал газовую сварку Э. Бурнонвиль при строительстве городского водопровода в Лонг Айленде. В 1907 г. он впервые продемонстрировал автогенную резку стальной балки, а также сумел сварить алюминиевые образцы. Возможности газопламенной резки были доказаны на Бруклинской верфи, когда за несколько минут были разрезаны четырнадцатидюймовые броневые плиты. С 1905 г. на заводах США О. Девис начал применять горелки Фуше. Компания «Дэвис-Бурнонвиль» внесла значительные усовершенствования в оборудование и распространила газовую сварку по всей стране [18].

Впервые в мире газовая горелка (точнее, резак) с целью резки была применена в 1901 г. при попытке ограбления земельного банка в Ганновере. Были использованы преимущества процесса – транспортабельный источник энергии – баллон с ацетиленом и кислородом. Неизвестно, знали ли взломщики то, что процесс резки стали происходит не только от теплоты пламени, но и от того, что железо сгорает в дополнительной струе кислорода. Причем температура сгорания железа в кислороде лежит ниже его точки плавления, а теплоты выделяется так много, что когда поступает кислород, процесс идет самопроизвольно и расплав выдувается струей кислорода. Взломщикам удалось разрезать только наружную оболочку толщиной 8 мм. Конструкция резака была еще не отработана, и кислорода не хватило [18].

Следует отметить, что автогенная резка появилась практически одновременно в нескольких странах. Так, в США Дж. Харрис, пытаясь получить синтетический рубин в пламени сварочной горелки, случайно разрезал стальной лист, служивший в качестве подложки. В 1904 г. Жоттран (Бельгия) к водородно-кислородной горелке добавил просто трубку с соплом, через которую подавался кислород. В том же году Э. Висс (США) запатентовал горелку-резак с концентрическими соплами, предложенную Э. Смитом. Сначала для этой цели использовали сварочные горелки, однако вскоре начали разрабатывать и газокислородные резаки. Этот вид резки сразу оказался вне конкуренции применительно к железу, стали и чугуну. В 1908 г. кислородная резка была испытана и в подводных условиях. Вскоре данный способ резки заинтересовал и германские фирмы. В большом объеме газовую резку применяли при демонтаже разрушенных металлоконструкций в период Первой мировой войны. В 1906 г., в Германии для металлизации успешно применяли ацетилено-кислородное пламя. Пистолет для газопламенного напыления изобрел М. У. Шооп [18].

Изобретатели многих стран совершенствовали конструкции горелок Пикара и Фуше. В 1908 г. фирма «Бритиш Оксид жен» создала го-

релку, в которой наконечник можно было поворачивать, изменяя угол между его осью и осью корпуса от 0 до 70 °С. В Италии Карбидное общество разработало горелку с охлаждением наконечника. В США в 1907 г. фирма «Девис-Бурнонвиль» смонтировала в горелке пористую диафрагму, предотвращающую обратный удар. Благодаря труду многих энтузиастов были разработаны и внедрены мало- и крупногабаритные горелки; горелки, рассчитанные на высокие и низкие давления газа; горелки с различной формой постоянных и сменных наконечников и т. д. [18].

В 1909 г. А.Дж. Фаучек с сыном разработали портативное оборудование для осуществления газовой сварки, усовершенствовав почти все элементы аппаратов, создали рациональные горелки, технологию сварки чугуна и т. д. Большой вклад в совершенствование внес и Дж. Харрис [18].

В России газовая сварка впервые появилась в 1906 г. Сварочные посты были оборудованы в Московском техническом училище, в некоторых ремонтных железнодорожных мастерских и на ряде машиностроительных заводов Москвы, С.-Петербурга и других городов, на металлургических заводах Урала и Украины. Газовую сварку применяли в основном для ремонта, реже для изготовления неотчетственных изделий из низкоуглеродистой стали, чугуна и меди; резку применяли для удаления дефектов литья.

В то время оборудование ввозили из-за границы. Однако уже в 1911 г, выпуск ацетиленовых генераторов и резаков был налажен на заводе «Перун» в Екатеринославе [18]. Как и за рубежом, применение газопламенной обработки в России возросло в период Первой мировой войны. Газовую сварку и пайку стали использовать в военной промышленности, правда, по-прежнему для неотчетственных узлов, с рекомендацией проковки и отжига швов.

Следующими событиями в истории развития автогенного дела было открытие при Петроградском технологическом институте курсов по обучению «самосварке и различным способам спаивания металла» и выпуск первого в России учебника. С этого времени объемы применения газовой сварки начали возрастать, и с середины 1920-х гг. этот способ занял ведущее положение в сварочном производстве страны. Применение газовой сварки было разрешено при изготовлении котлов, машин и других ответственных конструкций. Не последнюю роль в этом сыграло созданное в 1926 г. русско-американское смешанное акционерное общество «Рагаз». В 1927 г. на Ростокинском заводе начал работать цех по производству горелок, редукторов и резаков. Всего за период с 1928 по 1930 гг. было выпущено около 2 тыс. ацетиленовых генерато-

ров, почти 6 тыс. сварочных горелок и резаков, 6560 редукторов. Однако в связи с полной национализацией промышленности в СССР смешанное акционерное общество «Рагаз» было ликвидировано, и на его базе была создана государственная структура – Всесоюзный автогенный трест (ВАТ). В короткое время были построены новые цехи по производству аппаратуры для автогенной обработки, в том числе на Московском автогенном заводе, Ленинградском заводе «Красный автоген». С 1934 г. в СССР полностью прекратили импортировать автогенную аппаратуру. В этом же году было пущено шесть мощных установок по производству кислорода. В первой половине 1930-х гг. ацетиленокислородная сварка занимала ведущее место в сварочном производстве страны. Вместо ацетилена применяли другие газы. Для сварки сравнительно тонких алюминиевых листов, а также для подогрева и паяния использовали водород. Незначительное применение для сварки стали нашли установки, работающие на бензиновых, бензоловых и керосиновых парах. Другие горючие газы (метан, газолин, блаугаз) не использовали, так как они загрязняли место сваривания и не обеспечивали достаточно высокую температуру пламени. Для кислородной резки, наряду с ацетиленом, в Советском Союзе успешно использовали жидкие горючие материалы: бензин и особенно широко – керосин [10] [18].

#### 4.2. Термитная сварка

Несмотря на то, что газовая сварка успешно конкурировала и дополняла дуговую и контактную, при производстве машин, металлоконструкций и в строительстве оставалось много проблем, одна из них – сварка деталей с большим поперечным сечением шва. Дуговая сварка по способу Славянова и стыковая сварка по способу Томсона в принципе обеспечивали соединение металла достаточно больших толщин, но имели и серьезные недостатки – громоздкое оборудование и привязку к электрической сети. Возникла потребность в способе, обладавшем рядом таких же преимуществ, как и газовая сварка. В 1859 г. Н.Н. Бекетов<sup>50</sup> нашел способ, основанный на алюминотермии – процессе получения металлов восстановлением их окислов алюминием. Он доказал, что шихта из смеси порошков алюминия и оксида железа горит при температуре, составляющей несколько тысяч градусов, превращаясь в железо и шлак. Вместо алюминия можно было использовать магний, а из оксидов восстанавливать не только железо, но и ряд других металлов (хром, бор, титан). Это открытие впоследствии нашло применение в металлургии для получения безуглеродистых металлов, ферросплавов, лигатур [10].

В 1898 г. Г. Гольдшмидт в Германии впервые осуществил термитную сварку двух железных брусков, предварительно заформовав их и заполнив место стыка термитной смесью. После сгорания смеси образовавшееся жидкое железо было настолько перегрето, что подплавilo кромки, а после застывания превратилось в шов. Шлак всплыл и легко отделился от места соединения [10].

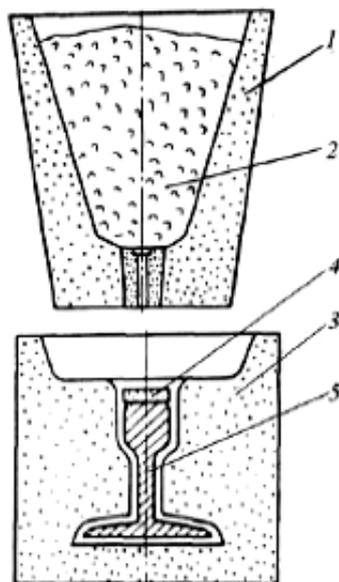
Первый патент Германии (№ 1085), касавшийся в основном сварки рельсов, Гольдшмидт получил в 1901 г. Вскоре была организована фирма «Гольдшмидт термит компани», и термитный процесс начали применять для заварки дефектов отливок, ремонта треснувших рам двигателей, маховиков, штанг и т. д. В 1908 г. Гольдшмидт усовершенствовал технологию сварки рельсов (пат. Германии № 281591).

В США в 1904 г. термитная сварка была использована для соединения рельсов, двигателей корабельных якорей, паровых машин и изготовления перекрытий мостов. Процесс оказался особенно выгодным при сварке соединений, сечение которых превышало 25 см<sup>2</sup>.

Непревзойденные в то время возможности термитной сварки были продемонстрированы при прокладке путей Парижского метрополитена. Уникальными были работы по сварке труб, которые начала выполнять в 1905 г. «Манхэтгэн Рефриджирейтинг компани» (США). Стыки двухдюймовых труб выдерживали сверхнизкие температуры под повышенным давлением.

Дальнейшее развитие термитной сварки шло по пути наиболее полного использования таких особенностей этого процесса, как чрезвычайно высокая температура шлака (искусственного глинозема – корунда) и железа; легкое разделение слоя железа и слоя шлака; возможность получения шва любой формы и достаточно большой площади сечения (объема); мобильность, абсолютная независимость от внешних источников энергии. Такой комплекс существенных технических признаков составлял преимущество термитной сварки при работах на монтаже и в полевых условиях.

В первые два десятилетия XX в. были разработаны и нашли применение три технологические схемы термитной сварки; заполнение разделки жидким металлом без дополнительных технологических приемов; заполнение разделки шлаком (иногда и металлом) с последующим сдавливанием деталей, вытеснение его (их) из зазора; комбинированный способ. Во всех трех случаях сжигание смеси и получение железа и шлака производили в отдельном тигле, расположенном над местом сварки (рис. 4.1 и 4.2).



*Рис. 4.1. Схема термитной сварки:  
1 – реакционный тигель; 2 – термитная смесь; 3 – сварочная форма;  
4 – огнеупорная предохранительная пластина; 5 – сваренный рельс*



*Рис. 4.2. Термитная сварка железнодорожного рельса*

В 1930-х гг. в СССР наиболее употребляемым был комбинированный способ термитной сварки стыков рельсов трамвайных и железнодорожных путей. При этом «рельсовый стык с железной пластинкой, зажатой между отрезанными торцами рельсовых головок, окружается соответствующей огнеупорной формой, в которую выливают из конического тигля через отверстие в дне расплавленные продукты термитной

реакции. Жидкое железо сплавляется с подошвой стыкуемых рельсов и с нижней частью шейки, образуя башмак, а шлак нагревает головки рельсов и вставленную между ними пластинку до сварочного жара, вслед за чем посредством специального пресса производят стягивание свариваемых рельсов, в результате чего происходит сварка. После остывания стыка поверхность катания головки рельса зачищают. По механическим свойствам стык, сваренный термитом при правильной пропорции смеси и при тщательной работе, является вполне удовлетворительным для условий железнодорожной службы.

В середине 30-х гг. применение газовой и термитной сварки достигло своего максимума. Так, в качестве основных достижений в области сварки в 1933 г. в США из девяти сварочных работ названы термитная сварка стального вала диаметром около 1 м (фирма «Метал энд Термит корпорейшн»), автогенная наплавка бронзы («Юнион Карбайд корпорейшн») и ряд других, выполненных газовым пламенем. Дуговая сварка отмечена только в двух случаях: ремонт чугунного литого корпуса насоса специальными толсто покрытыми электродами («Линкольн Электрик компани») и сварка стальных плит толщиной от 6 до 15 мм в туннеле Нью-Йоркского метрополитена («А.М. Байер компани») [10].

Сообщения о ремонте крупных изделий способом термитной сварки в Германии появились в 1960-е гг. Никакие другие способы сварки подобных изделий не смогли превзойти термитную сварку по простоте подготовки кромок, автономности и возможности сварки швов сложной конфигурации [10].

## 5. Первые сварные конструкции

### 5.1. Кораблестроение

Первые нормативы на стальные суда были выданы Регистром Ллойда в 1855 г. и Бюро Веритас в 1858 г. Поскольку преобладающим видом соединения металлических листов была клепка, эти суда собирались без применения сварки. Впервые сварка была использована в качестве ремонтной технологии, больше по необходимости, нежели осознанно [19].

Сварочная технология впервые была широко применена в 1905 году для ремонта русских судов, поврежденных во время войны с Японией. Успех этих ремонтных работ обусловил идею использования сварки с самого начала сооружения судна. После ремонта небольших барж в 1915–1917 гг. и выдачи Регистром Ллойда в 1918 году первых нормативов на сварку судов, были разрешены проектирование и спуск на воду судов с цельносварным корпусом.

Вскоре после Первой мировой войны все государства, имеющие в своем распоряжении морской флот, проявили живой интерес к быстрому и дешевому способу строительства судов. В Швеции было сконструировано и построено 16-ти метровое судно «ESAB IV», демонстрирующее все особенности цельнометаллической конструкции корпуса корабля. По этому проекту во Франции был построен 20-ти метровый корабль «SAF 4», а в Японии спущен на воду «Suwa Маш» [19].

Первое большое судно дальнего плавания было построено и спущено на воду в Великобритании в 1919 г. Корабль «Fullagar» имел 46 метров в длину и водоизмещение 398 тонн. Это судно выдержало серьезное крушение, которое потопило бы клепаный корабль. Очередной значительный шаг в направлении совершенства сварных кораблей был сделан в связи с ограничением тоннажа немецких судов по Версальскому договору. Самым лучшим способом обеспечения требований к уменьшению веса судов была сварная конструкция. В 1923 году был спущен на воду легкий крейсер «Emden», длиной 155 м и водоизмещением 6056 тонн.

В 20-е и 30-е годы XX в. клепаные суда еще оставались в большинстве. Картина изменилась в 40-е годы. Вторая мировая война породила огромный спрос на корабли, удовлетворить который могли только сварные суда. В эти годы в США было построено 2600 так называемых «Либерти Шипе» (Кораблей Свободы).

При эксплуатации сварных судов проявился новый вид разрушения корпуса судна. Он появлялся в основном из-за остаточных напряжений и отсутствия способности к деформации при определенных условиях. В конечном счете, большие научно-исследовательские работы смогли решить проблему хрупкого излома с помощью специальных материалов, требований к проектированию и сварке [19].

## **5.2. Несущие стальные конструкции для зданий**

Несущим стальным конструкциям для зданий с самого начала пришлось остро соперничать с бетонными и каменными. Сталь применяли только тогда, когда свойства общепринятых материалов были недостаточными. Примером может служить Эйфелева башня в Париже. В то время невозможно было возвести подобное сооружение из бетона. Развитие сварочной технологии изменило отношение к ней. Значительное сокращение стоимости производства и времени изготовления сделали стальные конструкции конкурентоспособными во многих областях. Экономичное превосходство сварных конструкций стало очевидным.

С 1920 года, в США были начаты проектные исследования по созданию конструкций несущих каркасов для многоэтажных зданий с использованием сварочной технологии.

Результаты этих исследований и ожидания снижения стоимости строительства были настолько убедительными, что 7-ми этажная больница Калифорнийского университета была построена за один месяц. Сообщалось, что при этом использовали 10 сварочных установок, которыми сварили более чем 3500 м швов. Несколькими годами позже этот успех привлек внимание европейских конструкторов. В 1922 году в Германии (Neese) была представлена на рассмотрение первая докторская диссертация, посвященная деталям конструкций, проектированию, анализу и проверке качества сварных соединений [19].

В 20-е годы по всему миру было воздвигнуто несколько зданий с применением сварки. В Германии были построены заводские здания, 13-ти этажное здание было возведено в Катовицах (Польша) и 20-ти этажное в Швейцарской Лозанне. Строительство здесь проходило по обычной технологии: изготовление элементов конструкций в цехе с использованием всех установок оснастки, приборов и доступных для автоматизации средств, а затем последующее возведение здания на монтажной строительной площадке с помощью сварки, а иногда и болтовых соединений.

После этой ранней, более или менее экспериментальной стадии новой технологии, потребовались правила и нормативы. Первые нормативы были введены в Германии в 1926 г. Затем в Польше в 1927 г. был опубликован норматив «Стандартное производство металлоконструкций с использованием дуговой сварки». Позднее за ними последовали все промышленно развитые страны. В 30-е годы сварка была внедрена в технологию сооружения небоскребов и высотных зданий: 32-х этажное здание в Лос-Анджелесе, 19-ти этажное в Варшаве, Литтори-Тауэр высотой 116 м в Милане [19].

### **5.3. Мосты**

С середины XIX века, когда сталь стала дешевой и массовой продукцией, начали возводить огромные мосты. В качестве примера можно вспомнить некоторые выдающиеся сооружения: мост через реку Форт, мост Тайн Бридж Великобритании, Бруклинский мост в Нью-Йорке. Все эти мосты были склепаны. Конструкторы в течение долгого времени неохотно использовали сварку из-за сомнений в надежности.

Во Франции в 1923 году механики были вынуждены взяться за срочный ремонт моста. С помощью сварки были добавлены ребра жесткости. Год спустя после удачного опыта железнодорожный виадук был отремонтирован и усилен сваркой. Допустимую нагрузку смогли удвоить.

В конце 20-х годов были сооружены первые сварные мосты. Пионерами был США и вслед за ними Советский Союз, выполнявший свои пятилетние планы. Экономия времени и материалов от применения сварки при строительстве мостов была значительна. В 1930 году уже существовали первые нормативы на сварные мосты, и широкому применению сварки уже ничего не мешало. В Бельгии были построены мосты через канал Альберта. Позднее они рухнули из-за хрупких разрушений. Замечательным примером того времени является полностью сварной мост в Чехословакии (Faltus). Проект производства сварочных работ отвечает всем современным требованиям. К концу 30-х годов были полностью разработаны концепции, проект и анализ сварных мостов [19].

### **5.4. Транспортные средства и оборудование**

Вероятно, не случайно, автомобильная промышленность и сварочная технология развивались в одно и то же время. В Германии первая реализация ацетилено-кислородной сварки состоялась на автомобильном заводе. По другую сторону реки Рейн, во Франции автомобильная

промышленность сыграла роль первооткрывателя. Ситроен создал первый отдел сварки, который отвечал за все аспекты новой технологии, например, за выбор материалов, технологию сварки, обеспечение качества и обучение персонала. Все больше и больше узлов производили с использованием сварки. Технология вводилась постепенно, шаг за шагом и в 30-е годы были спроектированы полностью сварные конструкции железнодорожных составов, локомотивов, трамваев, электрогенераторов и, в целях обороны, бронемашин. Одним из замечательных примеров, повлиявших на историю Второй мировой войны, является проектирование Патоном Е.О сварного русского танка Т-34. Корпус был собран с применением автоматизированной линии сварки под флюсом.

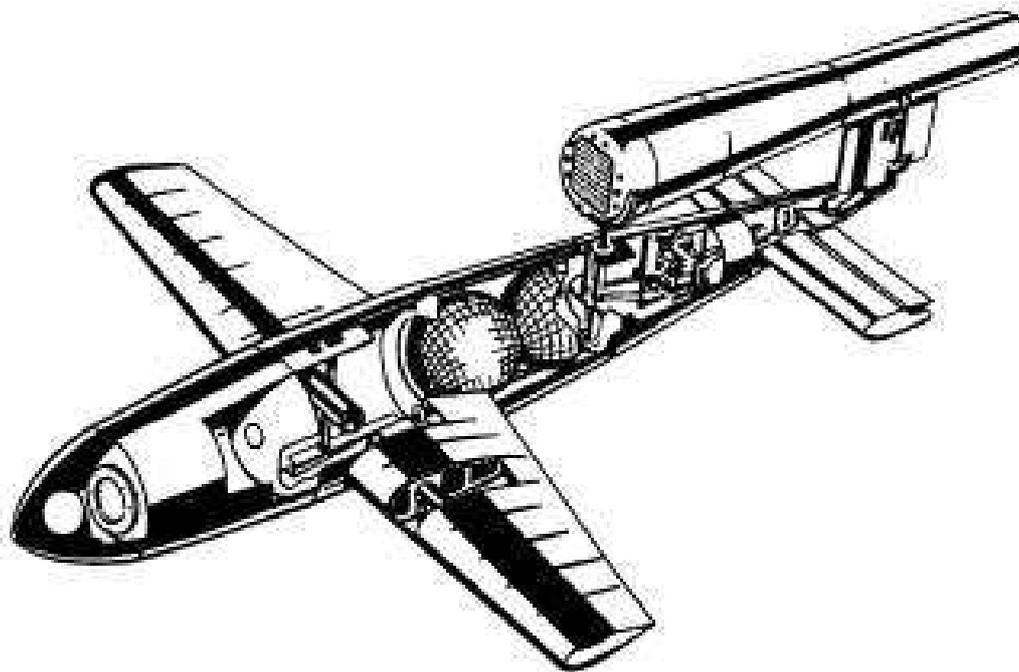
После войны сварка стала развиваться в мирных целях. Кроме непрерывных улучшений, можно увидеть и несколько краеугольных камней развития. В машиностроении, особенно при конструировании станков, механизмов и оборудования, литые чугунные корпуса были почти полностью заменены сварными. В 60-х и 70-х годах появление высокопрочных закаленно-отпущенных сталей оказало основное влияние на конструирование кранового, металлообрабатывающего и землеройного оборудования. Без этих материалов было бы не возможно создание передвижных кранов с грузоподъемностью до 1000 тонн [19].

## 6. Сварка в годы Второй Мировой войны

Подготовка к войне и сама война дали толчок развитию сварки, как новой, перспективной технологии во многих странах мира.

В довоенные годы в Германии в сварке увидели средство обойти ограничения по водоизмещению боевых кораблей, установленные Версальским договором. Не превышая разрешенных 10000 тонн, конструкторы сумели разместить на крейсерах мощное вооружение благодаря тому, что вес сварного корпуса стал на 15 % меньше клёпаного. Возросли темпы строительства кораблей. Корпуса линкоров, подводных лодок стали изготавливать с помощью ручной дуговой сварки. Бронированные плиты бортов, палуб, башен и рубок сваривали хромоникельмолибденовыми электродами.

Массовое производство самолётов-снарядов «Фау-1» (рис. 6.1) стало возможным благодаря применению сварки, с помощью которой изготавливались шарообразные баллоны для сжатого воздуха, необходимого для работы двигателя [20].



*Рис. 6.1. Конструкция «летающей бомбы» «Фау-1»*

Толчком к развитию сварных конструкций в Великобритании послужило известие о строительстве военного флота в Германии, в том числе подводных лодок. Тогда, чтобы ускорить производство, сварку стали применять для изготовления ответственных узлов корпуса кораб-

лей. К началу войны Великобритания уже располагала цельносварными кораблями.

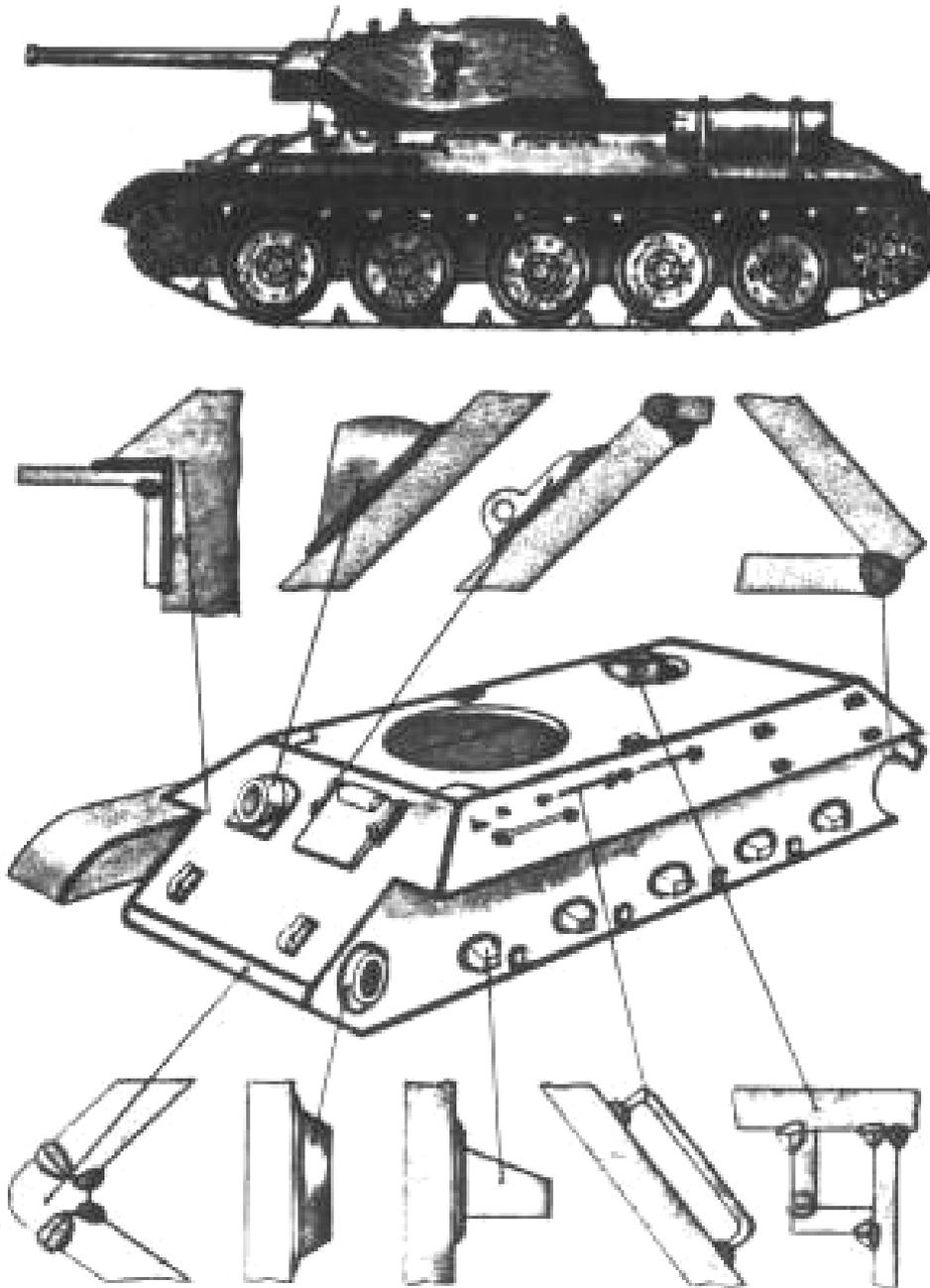
С началом войны стало ясно, что техника в этой войне должна сыграть решающую роль. Повсеместно вырос спрос на сварку. Компании, занимающиеся сваркой, лаборатории вузов и секции сварочных обществ начали переключаться на решение проблем, которые возникали в связи с освоением и увеличением выпуска вооружений. Работы велись по двум направлениям: совершенствование известных технологий сварки и поиск новых. Целью первого направления было ускорение производства и повышение качества вооружения из броневой стали, а второго – разработка новых способов сварки.

Одним из основных видов вооружения во Второй Мировой войне были танки. С точки зрения технолога-изготовителя танк – сложное инженерное сооружение, состоящее из корпуса и башни (рис. 6.2). Корпус танка собирается из катаных броневых плит толщиной от 45 до 120 мм. Эти плиты необходимо соединить в прочную конструкцию. Поэтому инженеру-сварщику приходится рассматривать танк как сооружение, изготавливаемое не только путём получения угловых и стыковых соединений в различных пространственных положениях, но ещё и как сооружение, изготавливаемое из трудносвариваемого материала [20].

Суровые условия войны требовали десятков тысяч танков. Препятствием к увеличению выпуска танков стали бронекорпуса, которые необходимо было сваривать. Чтобы выполнить эту работу ручной дуговой сваркой, нужны были сотни, тысячи высококвалифицированных сварщиков. А вместе с тем даже в мирное время опытных сварщиков не хватало. Подготовить в кратчайший срок необходимое количество специалистов было невозможно. Из создавшегося положения был только один выход – автоматизация процесса сварки.

В это трудное время академик Е.О. Патон начал разработку технологии автоматической сварки брони под флюсом. И эта задача была успешно решена: выбраны сварочные материалы, разработан флюс, созданы сварочное оборудование и технология сварки.

Производительность автоматической сварки не шла ни в какое сравнение с производительностью других методов сварки. Например, на приварке подкрылка к борту двумя швами длиной более пяти метров квалифицированный сварщик работал около 20 часов. Автоматом неквалифицированный рабочий после 5–10 дней обучения мог сварить этот шов за 2 часа. Сектор погона башни вместо пятичасовой сварки вручную автомат сваривал за 49 минут и т. д.



*Рис. 6.2. Танк – сложная сварная конструкция*

За выдающиеся достижения, ускоряющие производство танков и металлоконструкций, Е.О. Патону было присвоено звание Героя Социалистического Труда, десять сотрудников института были награждены орденами и медалями.

Большую работу по внедрению скоростной автоматической сварки под флюсом выполнил отдел сварки Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ). Разработанный здесь флюс ОСЦ-45 хорошо зареко-

мендовал себя при сварке малоуглеродистых сталей, из которых изготавливали боеприпасы (бомбы, снаряды и т. п.). Здесь же была спроектирована и изготовлена установка для контактной сварки рельсов в условиях работы с подвижной платформы. С помощью этой установки, размещённой на рельсосварочном поезде, было сварено за один 1942 год более 30 тысяч стыков [10].

Г.С. Шпагин<sup>51</sup> разработал пистолет-пулемёт (ППШ) с широким применением штампосварных конструкций, что значительно упрощало производство стрелкового оружия. В годы войны сварочные процессы стали широко применяться и при изготовлении авиационной техники: подmotorных рам боевых самолётов, сварных алюминиевых баков и т. п.

С честью выполнили сварщики Ленинграда важное задание Государственного комитета Обороны по скоростному строительству барж для «дороги жизни». Было изготовлено 14 сварных барж общим водоизмещением 12 тысяч тонн.

В годы войны возникла насущная проблема в подводной сварке и резке металлов при ремонте кораблей, мостов, при аварийных и спасательных работах. В декабре 1942 года был сформирован специальный поезд для подводной резки, состоящий из электростанции, водолазных станций, сварочных агрегатов, подъёмных и плавательных средств и т. д.

Характерно, что в годы войны впервые сварка стала применяться практически без ограничений. Так, в 1944 году были спроектированы цельносварные доменные печи, башни и мачты высотой 180–200 м и другие ответственные сооружения.

Война открыла широкую дорогу сварке в энергетику. В каждом котельном агрегате тепловой электростанции довоенной постройки имелось по три–четыре барабана – огромных цилиндрических емкости со сферическими днищами. Изготовление этой сложной и ответственной конструкции требовало специального мощного кузнечно-штамповочного оборудования, причём на какие-либо виды сварки или подварки был наложен строжайший запрет – взрыв котла грозил разрушением всей электростанции.

Во время войны при отступлении электростанции выводились из строя взрывом сферической части барабана. Замена барабана для запуска электростанции означала сборку нового котельного агрегата.

В 1943 году после освобождения оккупированных территорий было принято рискованное по тем временам решение – «отремонтировать барабаны сваркой». Предлагалось: вырезать повреждённые участки; из

одного барабана сделать заплатки; вварить заплатки в остальные три барабана.

Ручной дуговой сваркой покрытыми электродами с предварительным подогревом свариваемого материала были восстановлены барабаны, которые выдержали гидравлическое давление, в два раза превышающее рабочее. Такого применения сварочной дуги не знала мировая практика. Электростанция была пущена в кратчайший срок.

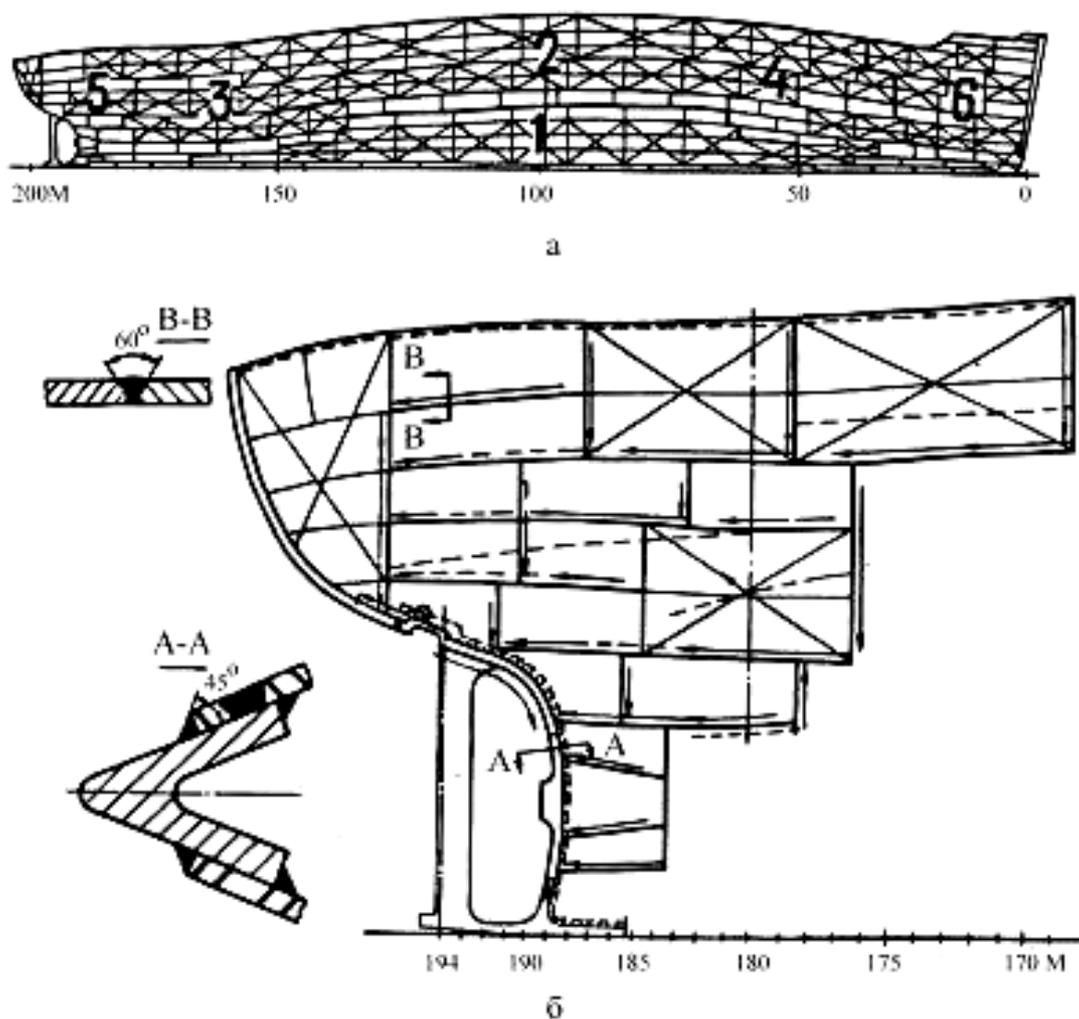
В начальный период войны Америка сохраняла нейтралитет. В её портах было интернировано большое количество немецких торговых судов. Но как только она вступила в войну, на всех немецких судах почти одновременно прогрехотали взрывы. Оказалось, что команды этих судов заранее подготовили взрывы, чтобы не дать американцам возможности использовать немецкий флот против немцев же.

Экспертная комиссия, обследовав суда, пришла к выводу, что для восстановления их потребуется не менее двух–трёх лет.

И тогда морское министерство предложило для ремонта судов применить электродуговую сварку. Через полгода все немецкие корабли под флагом США вышли в море.

С 1940 по 1942 год объём сварочного производства в США возрос в три раза, в основном за счёт ручной дуговой сварки электродами с качественными покрытиями и автоматической сварки голой проволокой под флюсом.

В США, стране значительно удалённой от фронтов, большое внимание уделялось строительству морского транспорта. Была разработана программа, по которой тоннаж флота к 1946 году должен был увеличиться более чем в 2,5 раза. Не последняя роль в ускорении строительства отводилась сварке «преимущественно электродуговой», почти полностью заменившей клёпку. Только за 1942 год, благодаря замене клёпаной конструкции и технологии клёпки на сварную конструкцию и сварку судов было сэкономлено 500 тыс. тонн стали. Цикл постройки сократился до 50 дней. На верфи «Ричмонд Ярд» (Калифорния) был поставлен рекорд сборки и сварки корпуса – 4 дня. Для сокращения времени и уменьшения стоимости изготовления, снижения остаточных напряжений и деформаций была разработана схема «расчленения» корпуса на секции (рис. 6.3). Каждая секция сваривалась из отдельных листов и элементов набора, что позволяло изготавливать судно на поточной линии в цехе одновременно на нескольких участках. Для сварки листов обшивки, толщина которых достигала 20 мм, применялась дуговая автоматическая сварка под слоем флюса. Для уменьшения деформаций применялась многослойная обратно-ступенчатая сварка [20].



*Рис. 6.3. Схема сборки и сварки корпуса судна; цифрами обозначена последовательность сборки корпуса из объёмных секций, выделенных утолщёнными линиями; стрелками показано направление сварки*

Сварка применялась и в строительстве американских подводных лодок. В судостроении США впервые был применен способ резки металлов угольной дугой со сжатым воздухом – «Арк эйр», разработанный М. Степатом.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами применялась для соединения стальных деталей и узлов вертолётов и самолётов. Так, фюзеляж истребителя «Вэлиент» собирали из 410 частей: 110 отрезков хромомолибденовых трубок, 295 уголков, кронштейнов и фитингов из хромомолибденовых листов и т. д. Для ускорения процесса изготовления самолёта было предложено увеличить диаметр применяемых электродов, создать поточную линию с кантователями и упростить конструкцию фюзеляжа.

В период развития военного авиастроения для соединения магниевых сплавов Р. Мередитом был разработан новый способ дуговой сварки вольфрамовым электродом в инертных газах (TIG). Дуга при обратной полярности в среде гелия и аргона горела стабильно. При этом применяли присадочную проволоку.

Сварка сыграла большую роль в производстве и другой военной техники и боеприпасов. Не обошлись без сварки при изготовлении первых атомных бомб. Применение автоматической сварки под флюсом сократило срок изготовления бомб на 30 дней по сравнению с теми сроками, которые планировались при других технологиях.

Таким образом, с началом Второй Мировой войны в странах антигитлеровской коалиции интенсифицировалось применение сварки, что позволило решить многие задачи промышленного строительства, производства вооружений, восстановления народного хозяйства [1], [2], [10], [20], [21].

## 7. Лучевые виды сварки

Ученые и инженеры разных стран, занимающиеся сварочными проблемами, не могли не обратить внимания на новые виды источников нагрева – лучевые. Задача использования их для целей сварки облегчалась фундаментальными исследованиями физиков в области оптики, квантовой механики, ускорительной техники для электронных и ионных пучков.

В результате интенсивных поисков и исследований специалисты-сварщики разработали новые виды сварки, основанные на энергии интенсивных электронных, ионных и фотонных лучей. Уже первые исследования показали, что лучевые источники нагрева обладают уникальными свойствами, открывающими большую перспективу их использования в области сварки.

### 7.1. Электронно-лучевая сварка

Способ электронно-лучевой сварки (ЭЛС) возник во Франции и СССР почти одновременно в 1957–1958 гг. и связан с именами французского ученого Д.А. Стора (Французская комиссия по атомной энергии) и русского ученого Н.А. Ольшанского<sup>52</sup> (Московский энергетический институт). У истоков появления ЭЛС стояли также К.Г. Штайгервальд (ФРГ) и Б.А. Мовчан (ИЭС им. Е.О. Патона) [2].

Для осуществления нагрева и расплавления металлов при ЭЛС используется энергия быстро движущихся в глубоком вакууме направленных электронов. Процесс сварки реализуется в специальной установке, принципиальная схема которой изображена на рис. 7.1.

Совершенствование ЭЛС диктовалось растущим производством большой группы изделий из трудносвариваемых тугоплавких и химически активных металлов, обладающих ценными свойствами (Мо – молибден, Zr – цирконий, W – вольфрам, Nb – ниобий, Ta – тантал, Вe – бериллий, Ti – титан и др.).

Эти металлы, как и сплавы на их основе, широко используются в химическом машиностроении, реакторостроении, электронном приборостроении, корпусных узлах летательных и космических аппаратов и других областях.

Сварка изделий из таких металлов связана с большими трудностями, из-за их способности даже при небольшом нагреве жадно поглощать из окружающей среды кислород, азот, водород, что приводит к хрупкости и потере пластичности сварными соединениями.

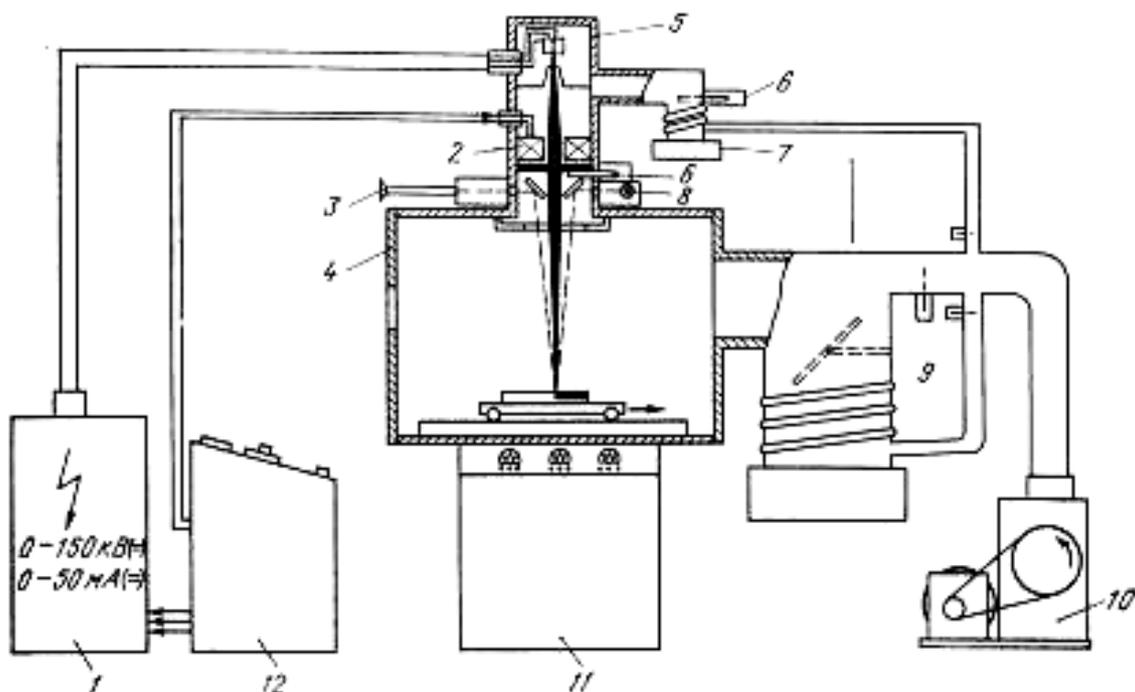


Рис. 7.1. Принципиальная схема установки для электронно-лучевой сварки:  
 1 – высоковольтный источник питания; 2 – магнитное отклоняющее устройство;  
 3 – телескопическое устройство для наблюдения; 4 – сварочная камера;  
 5 – электронная пушка; 6 – вентиль; 7 – диффузионный насос; 8 – освещение;  
 9 – вакуумный вентиль; 10 – роторный форвакуумный насос; 11 – пульт управления движением детали; 12 – электрический пульт управления

До появления ЭЛС такие изделия сваривались с помощью дуги в среде инертных газов, преимущественно в аргоне, к которому предъявлялись жесткие требования по содержанию примесей ( $N_2 < 0,01 \%$ ,  $O_2 < 0,003 \%$ ). Однако в техническом отношении процесс отличается сложностью, малоэффективен и малопроизводителен. При учете стоимости затрачиваемых при этом электроэнергии, инертного газа, транспортных расходов, контроля газовой среды создание вакуума, в котором протекает сварка электронным лучом, по данным французских специалистов оказывается в 35 раз дешевле.

За сравнительно короткий срок, прошедший с момента возникновения ЭЛС, она получила широкое практическое использование, хотя еще многие теоретические и физические ее стороны до настоящего времени остаются не выяснены. Это связано со сложностью протекающих процессов при взаимодействии электронного луча со свариваемым металлом, высокой концентрацией энергии в пятне нагрева ( $10^7 \dots 10^8 \text{ Вт/см}^2$ ) и другими явлениями.

Поток электронов создается важнейшей частью такой установки – электронной пушкой, в которой излучателем электронов является

нагреваемый до высокой температуры ( $\sim 2500$  °С) вольфрамовый или металлокерамический катод.

Для ускорения движения электронов к ускоряющему электроду и изделию подводится положительный полюс (анод) высоковольтного источника питания. В зависимости от назначения установки ЭЛС и типа электронной пушки величина ускоряющего напряжения меняется в широком диапазоне – от 10 до 200 кВ.

По мере перемещения луча по направлению сварки или, что чаще, изделия относительно луча, расплавленный металл затвердевает, и образуется сварной шов.

Для обеспечения свободного движения электронов от катода к изделию (аноду) необходим вакуум не ниже  $5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст., создаваемый с помощью вакуумного оборудования.

Острая фокусировка электронного луча на малую площадь изделия (пятно нагрева может иметь величину до  $10^{-7}$  см<sup>2</sup>) приводит к получению очень высокой плотности энергии (до  $5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, в то время как электрическая дуга имеет плотность энергии  $1 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>), что приводит к значительному повышению температуры поверхности жидкого металла в зоне сварки и к образованию характерной формы проплавления металла – узкому и глубокому, получившему название кинжальное проплавление.

Электронный луч с высокой плотностью энергии обычно используется для сварки тугоплавких и теплопроводных металлов и деталей больших толщин (до 200 мм). При сварке же легкоплавких и легкоиспаряющихся металлов (например, алюминия, магния) и деталей небольшой толщины целесообразнее применять луч с малой плотностью энергии, а иногда с импульсным нагревом, когда действие луча на изделие чередуется с паузами.

Основные параметры режима ЭЛС складываются из выбора силы тока сварки (мА), ускоряющего напряжения (кВ), скорости сварки (см/сек).

К несомненным преимуществам ЭЛС относятся следующие:

- получение наиболее совершенного, очень узкого с глубоким проплавлением шва, что обеспечивает значительную экономию металла;
- большая сосредоточенность вводимого в изделие тепла, малое его количество (в 4–5 раз меньше, чем при дуговой сварке) позволяют получить небольшую зону термического влияния и минимальное изменение формы изделия (коробление);
- благодаря вакууму, в котором происходит сварка, отсутствует насыщение металла шва газами, имевшиеся в нем газы успевают выде-

литься (всплыть), в результате достигается весьма высокое качество сварных соединений;

- для сварки характерен пониженный расход электроэнергии, применение же вакуума не требует использования дорогостоящих инертных газов.

К числу недостатков ЭЛС можно отнести следующие:

- создание вакуума в рабочей камере, загрузка и выгрузка изделий из нее требуют значительного времени, что не только снижает производительность процесса, но и затрудняет осуществление комплексной автоматизации всего процесса изготовления сварных изделий;

- вследствие торможения скоростных электронов в свариваемом металле, особенно при большом ускоряющем напряжении ( $>100$  кВ), возникает жесткое рентгеновское излучение, что требует дополнительной биологической защиты обслуживающего персонала и, кроме того, усложняет и без того достаточно сложное оборудование для ЭЛС [2], [22].

## 7.2. Лазерная сварка

В истории развития науки и техники бывают случаи, когда отдельные открытия и изобретения дают мощные средства для решения ряда практических, в том числе и важных задач.

К числу подобных работ в области квантовой электроники относится открытие в 1952 г. физиками Н.Г. Басовым<sup>53</sup>, А.М. Прохоровым<sup>54</sup> (СССР) и Ч. Таунсом<sup>55</sup> (США) нового принципа генерации и усиления света, получивших за это открытие Нобелевскую премию [20].

На основе этих работ в начале 60-х годов XX в, в США был создан для сварки первый оптический квантовый генератор – лазер на рубине. Лазер получил свое название по первым буквам английской фразы – «Light-Amplification by Stimulated Emission of Radiation» («Усиление света Путем стимулированного излучения»).

Активные разработки лазерных устройств во многих странах привели к появлению в семидесятых годах как твердотельных (рубин, неодимовые стекла и др.) так и газовых лазеров, использующих в качестве излучателей газы и газовые смеси (инертные газы, углекислый газ, смесь  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  и др.).

В настоящее время лазерное технологическое оборудование успешно применяется для целей сварки, резки и пробивки отверстий в металлах и неметаллических материалах (керамика, стекло и др.), поверхностной термической обработки ряда изделий и т. д.

Лазерный луч нашел применение в медицине (диагностика, хирургия, терапия и др.), в средствах связи и телевидении, в военно-космической области и т. д.

Для лазерной сварки используется одночастотный световой луч. Этот луч переносит энергию в металл, что разогревает его до температуры плавления. Лазерная сварка чаще всего используется для соединения маленьких деталей, деталей из легких материалов, особенно если затруднено применение других процессов.

Лазерное излучение, при лазерной сварке, образуется в результате активизации молекул вещества (обычно рубина или диоксида углерода) за счет световой или тепловой энергии. Лазерный луч является высококонцентрированным источником энергии, обеспечивает разогрев в точке до температуры плавления металла. Управление лазерным лучом производится с помощью системы зеркал (рис. 7.2). Для лазерной сварки используют как постоянный, так и пульсирующий лазерный луч.

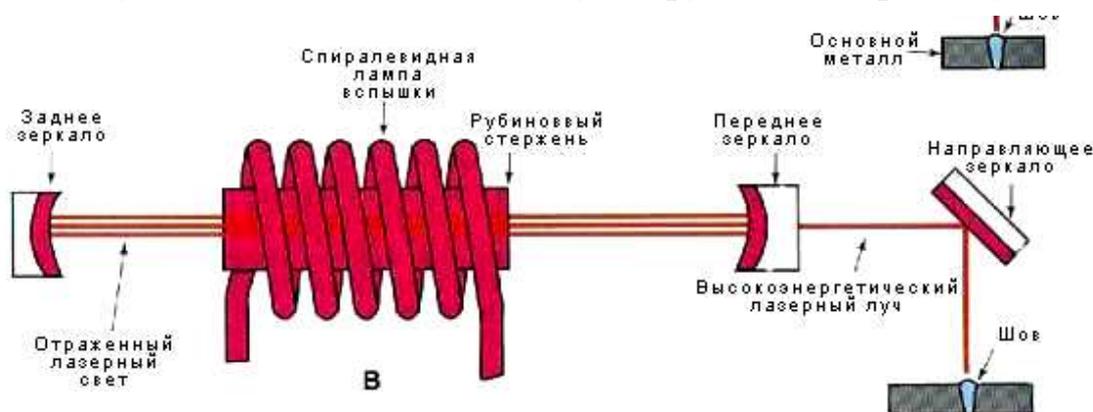


Рис. 7.2. Схема лазерной сварочной установки

Первые лазерные сварочные установки с твердотельным активным стержнем работали в импульсном режиме (длительность импульса 0,5–5 мс) и имели максимальную энергию излучения не выше 2 Дж. Поэтому они использовались для сварки и сверления металлов толщиной 0,1–0,2 мм.

Замена рубиновых кристаллов итрий-алюминиевым гранатом, легированным неодимом, позволила значительно увеличить энергию излучения лазеров и, в конечном счете, разработать и создать серию промышленных лазерных установок типа «Квант», осуществляющих точечную или шовную сварку.

В дальнейшем были разработаны газовые лазеры, позволившие значительно поднять мощность излучения и коэффициент полезного действия (до 20 %). Активный газ или газовая смесь заключается в трубке, ограниченной с двух сторон строго параллельными зеркалами,

как в твердотельных лазерах. Возбуждение газовых молекул осуществляется с помощью электрического разряда. Такие лазеры могут работать в непрерывном режиме и позволяют сваривать изделия значительной толщины. Имеются сведения о сварке сталей толщиной 50 мм и более при мощности непрерывного излучения в несколько десятков киловатт.

К основным преимуществам лазерной сварки в сравнении с другими сварочными процессами можно отнести следующие:

- высокая локальность нагрева позволяет осуществлять сварку вблизи хрупких материалов (например, стеклосплавов полупроводниковых элементов) без их разрушения и изменений формы деталей;

- минимальное время воздействия лазерного луча на свариваемый металл обеспечивает малые размеры зоны термического влияния и хорошие ее свойства, что особенно важно для тугоплавких металлов и их сплавов;

- возможность сварки световым лучом в любой среде, пропускающей свет, – в вакууме, в инертных газах, на воздухе, а также деталей, заключенных в герметические стеклянные оболочки.

Важнейшими недостатками лазерной сварки являются следующие:

- низкий КПД лазеров (~10 %);

- из-за неспособности лазерного луча проникать в металл, теплопередача происходит только с поверхности. Поэтому попытки достичь глубокого проплавления за счет повышения тепловой энергии в пятне нагрева приводит к появлению дефектов сварного шва (рыхлость, бугристость, поры) вследствие вытеснения жидкого металла световым давлением и давлением паров испаряемого металла.

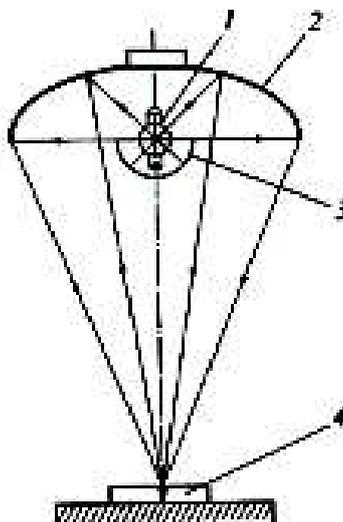
Наибольшее применение лазерная сварка нашла в производстве изделий электронной, радиотехнической промышленности, в точном приборостроении, при получении микроминиатюрных элементов (приварка выводов к тонкопленочным схемам, микромодулям, полупроводниковым устройствам и др.) [2], [22].

### **7.3. Сварка лучистым нагревом**

В конце 60-х годов XX в. ряд сотрудников Московского авиационно-технологического института им. К.Э. Циолковского, под руководством проф. Г.Д. Никифорова, разработали процесс сварки и пайки сфокусированной лучистой энергией от мощных источников света. Принципиальная схема процесса весьма проста (рис. 7.3) и сводится к следующему.

Мощная дуговая ксеноновая лампа сверхвысокого давления 1 помещается в фокусе эллипсоидного отражателя 2. Для более полного ис-

пользования лучистого потока лампы служит контротражатель 3. Отраженные лучи света от эллипсоидного отражателя, фокусируются на нагреваемом (свариваемом) изделии 4, образуя так называемое фокальное пятно. Оптическую схему можно несколько усложнить, если на пути движения отраженных лучей поставить линзовый объектив, позволяющий уменьшить диаметр фокального пятна [22].



*Рис. 7.3. Оптическая схема установки для сварки лучистой энергией*

Эффективность ввода тепла в изделие будет зависеть от плотности лучистого потока в фокальном пятне, которое может довольно просто регулироваться от 0 до  $E_{\max}$ . Так, при использовании лампы мощностью 10 кВт удалось получить  $E_{\max} = 2200 \text{ Вт/см}^2$ , что вполне достаточно для осуществления сварки сталей, титановых и алюминиевых сплавов толщиной до 2 мм.

Основной особенностью процесса лучистого нагрева при сварке является отсутствие механического давления лучистого потока на сварочную ванну, Поэтому можно проводить сварку без формирующих подкладок (на весу), формирование же сварного соединения происходит, в основном, под действием поверхностного натяжения жидкого металла. Кроме того, благодаря высокой отражающей способности поверхности жидкого металла отсутствует перегрев металла сварочной ванны и его кипение.

Оптический источник тепла позволяет сваривать не только металлы, но и стекло, керамику, пластмассы. Преимущества этого способа сварки проявились особенно наглядно на примере сварки шлакоситаллового стекла (стеклокерамика), которое до этого считалось несвариваемым.

Широкие пределы регулирования энергетических параметров лучистого потока и размеров фокального пятна нагрева дают возможность применять лучистый нагрев для пайки. Локальность нагрева, высокие градиенты температуры в спаиваемых деталях, возможность применения практически любых из существующих припоев, начиная от легкоплавких оловянно-свинцовистых и кончая тугоплавкими на основе никеля и титана – вот те характерные особенности, присущие лучистому нагреву.

Нагрев для целей сварки и пайки сфокусированной лучистой энергией обладает рядом существенных преимуществ перед другими видами нагрева, а именно:

- бесконтактным подводом энергии к изделию за счет удаленности источника излучения от изделия, что важно при сварке в труднодоступных местах и при необходимости нагрева через оптически прозрачные оболочки в любой контролируемой атмосфере и в вакууме;

- возможностью нагрева различных материалов независимо от их электрических и магнитных свойств;

- легкостью регулирования энергетических параметров лучистого нагрева и простотой визуального контроля за поведением материала при нагреве.

К основным недостаткам сварки лучистым нагревом следует отнести:

- низкий КПД процесса, колеблющийся от 5 до 15 % в зависимости от схемы установки и типа лампы;

- затрудненность выполнения сварки в любых пространственных положениях сварного шва, кроме нижнего, что объясняется невозможностью свободного манипулирования положением фокального пятна нагрева в пространстве.

Конечно, сварщики не могли выпустить из поля зрения такой источник лучистой энергии, как солнце. Опытные установки гелиосварки показали их принципиальную применяемость, однако их громоздкость, зависимость от погодных условий, необходимость постоянной корректировки положения отражающих зеркал на солнце и другие трудности не позволили пока довести этот способ до реального использования [2], [22].

## 8. Высокочастотная сварка

Токи высокой частоты нашли промышленное применение в 30–40-х гг. прошлого века в основном в области электротермии. В это же время были предприняты попытки их применения для сварки металлов.

Использование токов высокой частоты (ТВЧ) для сварки основано на проявлении двух эффектов: поверхностного и близости. Проявление поверхностного эффекта заключается в том, что плотность переменного тока, протекающего по металлическому телу, распределена неравномерно по его сечению.

Она максимальна на поверхности проводника и резко уменьшается по мере удаления от поверхности в глубь тела. Толщина этого поверхностного слоя, называемая «глубиной проникновения тока», тем меньше, чем выше, в частности, частота тока. Поэтому при высокой частоте ток проходит лишь по тонкому поверхностному слою проводника.

Поверхностный эффект существенно увеличивает активное сопротивление проводников и позволяет сконцентрировать выделение энергии в поверхностных слоях нагреваемых изделий.

Эффект близости заключается в том, что токи высокой частоты, протекающие в двух параллельных проводниках и имеющие противоположные фазы, стремятся пройти по путям, находящимся в максимальной близости один от другого. Это явление позволяет управлять распределением тока высокой частоты по поверхности металла и локализовать нагрев в строго ограниченной зоне.

Работы по сварке металлов ТВЧ были начаты в 1944 г. в лаборатории профессора В.П. Вологодина применительно к стыковой сварке труб.

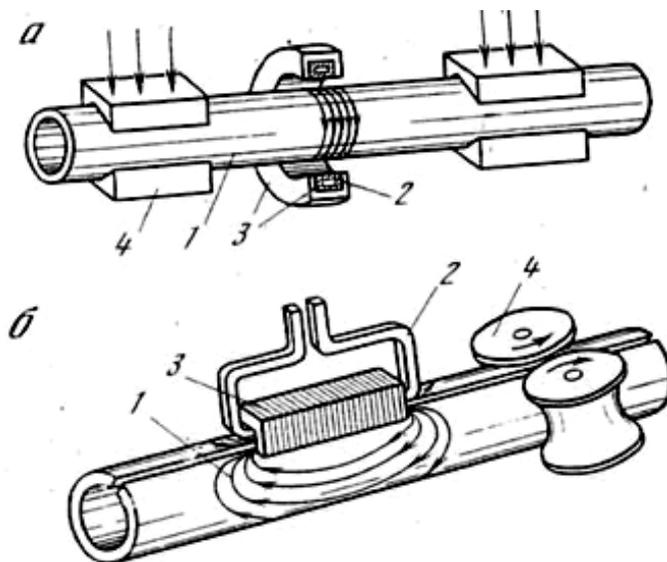
Развитие этого направления позволило в середине 50-х гг. XX в. разработать промышленную технологию высокочастотной сварки котельных труб.

Следующим шагом в развитии этого вида сварки было ее применение для выполнения продольных швов при производстве электросварных труб.

Были разработаны различные методы реализации этого направления развития сварочного производства.

К 1965 г. практически все трубоэлектросварочные станы для производства стальных труб малого и среднего диаметров были оборудованы устройствами для высокочастотной сварки (рис. 8.1).

Также были пущены в эксплуатацию станы для сварки алюминиевых и латунных труб, оболочек кабелей.



*Рис. 8.1. Схемы поперечной (а) и продольной (б) стыковой сварки ТВЧ:  
1 – свариваемые трубы; 2 – индуктор; 3 – магнитопровод; 4 – устройство  
для создания сварочного давления*

Аналогичные работы проводились в ряде зарубежных стран: США, Франции, ФРГ. Были разработаны и существуют до настоящего времени два метода подвода тока – контактный и индукционный.

При контактном методе ток подводится с помощью электродов (кондукторов), подключающих свариваемые детали к источнику ТВЧ.

Этот метод подвода тока прост и эффективен, но имеет один недостаток – наличие подвижного контакта между заготовкой и электродами [1].

Индукционный нагрев проводится следующим образом. Металлическая заготовка помещается в так называемый индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода (чаще всего медного). В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты (от десятка Гц до нескольких МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла.

Индуктор сильно нагревается во время работы, так как сам поглощает собственное излучение. К тому же он поглощает тепловое излучение от раскалённой заготовки. Делают индукторы из медных трубок, охлаждаемых водой. Вода подаётся отсасыванием – этим обеспечивается безопасность в случае прожога или иной разгерметизации индуктора.

## 9. Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка – изобретение, появление и первоначальное развитие которого относится к 30–40-м годам прошлого столетия. Открытие этого процесса связано с исследованием применения ультразвуковых колебаний для очистки поверхностей, соединяемых с помощью контактной сварки. Было обнаружено, что при одновременном воздействии на зону сварки определенного усилия сжатия и ультразвуковых колебаний соединение образцов осуществляется без пропускания через них сварочного тока.

На первом этапе развития ультразвуковой сварки были получены сравнительно прочные соединения из мягких алюминиевых сплавов толщиной от 0,01 до 0,2 мм.

Дальнейшему развитию ультразвуковой сварки препятствовало отсутствие полных сведений о процессах образования неразъемных соединений твердых тел под воздействием ультразвука и эффективного специализированного оборудования. Исследования, проведенные в середине 60-х гг. XX в. в Институте электросварки им. Е.О. Патона, ИМЕТ им. А.А. Байкова и ВНИИЭСО, позволили обосновать механизм образования соединения металлов с помощью ультразвука [1].

Процесс образования соединения металлов с помощью ультразвуковых колебаний в общем случае можно разбить на три стадии:

- 1) получение первичных «мостиков схватывания»;
- 2) повышение температуры до  $(0,3–0,5)T_{пл}$  соединяемых металлов в зоне контакта, вызывающее повышение пластичности поверхностных слоев металла, испарение пленок жира и влаги, растрескивание оксидных пленок;

- 3) сближение соединяемых поверхностей на расстояния, достаточные для появления межатомных взаимодействий, обуславливающих образование монолитного соединения. Отдельные исследования указывают на то, что образование соединения сопровождается интенсивным протеканием в поверхностных слоях диффузии, релаксации и в ряде случаев – плавлением металла на глубину нескольких атомных слоев.

Показано, что характер процессов, протекающих при образовании соединения, определяется физико-химическими свойствами соединяемых материалов и технологическими параметрами сварки. В конце 60-х гг. была обнаружена возможность качественной сварки полимеров с помощью ультразвука.

Практической реализацией ультразвуковой сварки пластмасс успешно занимались ряд фирм США, Англии, ФРГ и Японии. В СССР наиболее заметный вклад в этой области внесен учеными МГТУ им. Н.Э. Баумана, где выполнен цикл работ по соединению термопластов с терморектопластами и металлами. Следует отметить весьма перспективное направление использования ультразвуковой сварки в сочетании с контактной. В этом случае появляется возможность существенно снизить мощность сварочных машин, особенно при сварке металлов, имеющих небольшое электрическое сопротивление (медь, серебро, никель) [1].

Под действием ультразвуковых колебаний в результате фрагментации поверхностных слоев в зоне контакта возрастает его электрическое сопротивление, что обуславливает эффективность тепловыделения в зоне сварки и существенно повышает скорость процессов диффузии.

Последний эффект может быть использован для интенсификации диффузионной сварки. Другим не менее важным направлением в области получения соединений с помощью ультразвуковых колебаний является комбинированный способ сварко-пайки, сочетающий ультразвуковую сварку с различными процессами пайки, особенно в тех случаях, когда исключено применение флюсов.

Для осуществления данного вида сварки было разработано специализированное оборудование, состоящее из источника генерации высокочастотных (ультразвуковых) электромагнитных колебаний, механической колебательной системы, аппаратуры управления сварочным циклом и привода сварочного усилия. Преобразование электромагнитных колебаний в механические и введение последних в зону сварки обеспечивается механической колебательной системой.

Типовые колебательные системы для ультразвуковой сварки металлов приведены на рис. 9.1.

Основным звеном колебательных систем является преобразователь 1, который изготавливают из магнито-стрикционных или электрострикционных материалов (никель, пермендюр, титанат бария, ниобат свинца и др.).

Преобразователь является источником механических колебаний. Волновое звено 2 осуществляет передачу энергии к сварочному наконечнику и обеспечивает увеличение амплитуды колебаний по сравнению с амплитудой исходных волн преобразователя, а также трансформирует сопротивление нагрузки и концентрирует энергию в заданном участке свариваемых деталей 5. Акустическая развязка 3 от корпуса машины позволяет практически всю энергию механических колебаний трансформировать и концентрировать в зоне контакта.

Сварочный наконечник 4 является согласующим волноводным звеном между нагрузкой и колебательной системой. Он определяет площадь и объем непосредственного источника ультразвуковых механических колебаний в зоне сварки. В зависимости от формы сварочного наконечника колебательной системы ультразвуковая сварка может быть точечной, шовной или кольцевой. С помощью ультразвука можно сваривать металлы и сплавы как между собой (в однородном или разнородном сочетании), так и с некоторыми неметаллическими материалами.

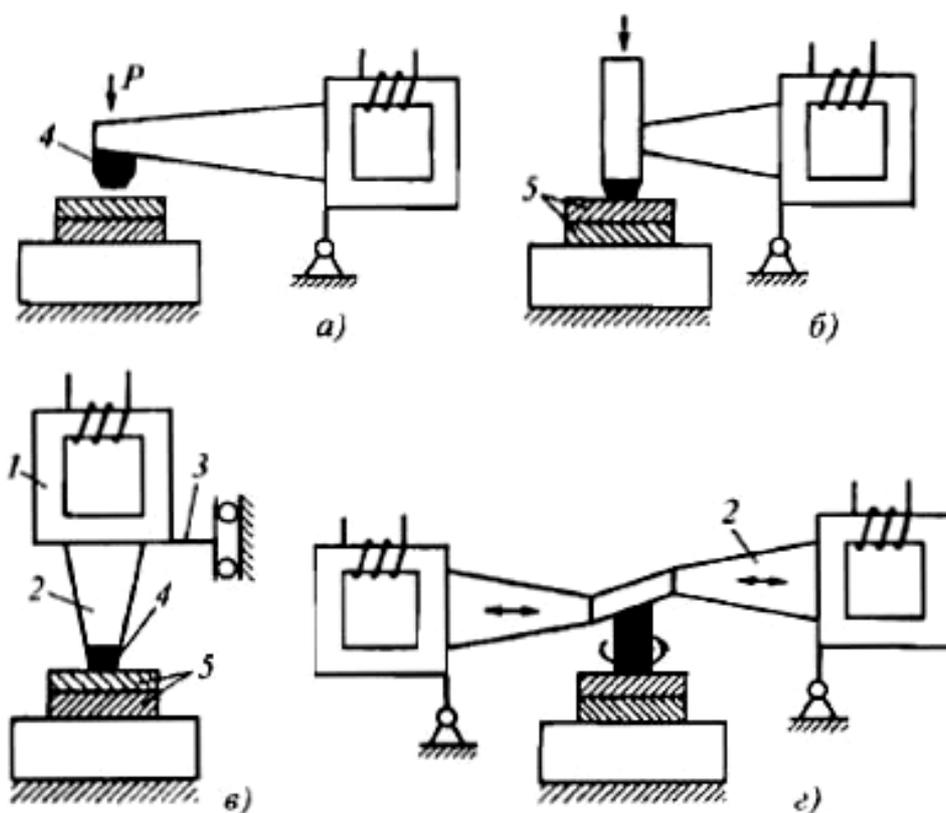


Рис. 9.1. Схемы типовых колебательных систем:  
*а* – продольная; *б* – продольно-поперечная; *в* – продольно-вертикальная;  
*г* – крутильная

Свариваемость металла зависит от его твердости и кристаллической структуры. Свариваемость ухудшается в следующей последовательности для металлов, имеющих ГЦК, ОЦК и гексагональную решетку, а также с увеличением твердости.

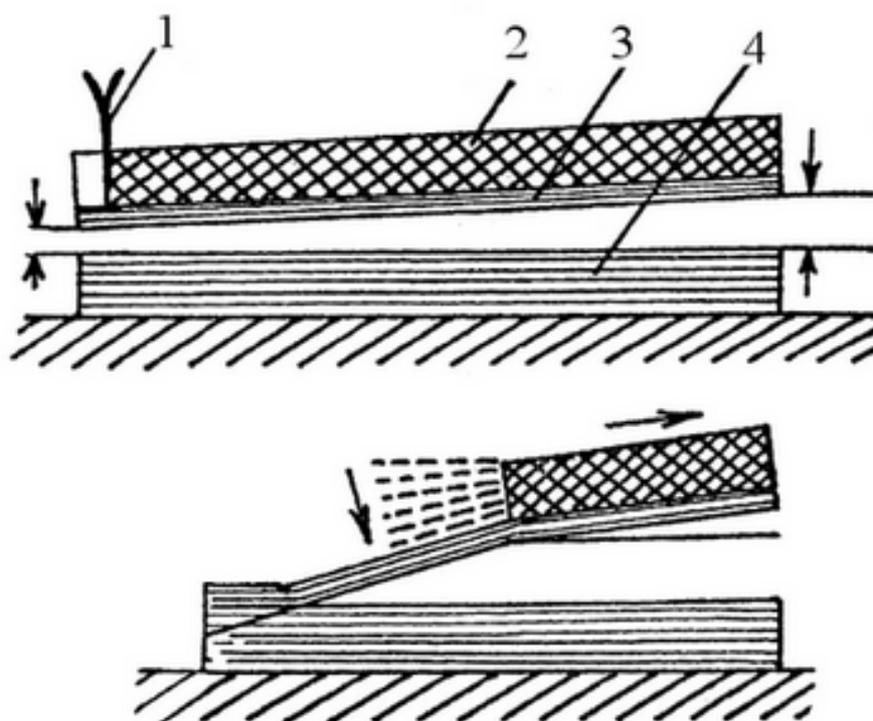
Ультразвуковая сварка позволяет соединять разные элементы изделий толщиной 0,005–3,0 мм или диаметром 0,01–0,5 мм. При приварке тонких листов и фольг к деталям толщина последних практически не ограничивается.

Особые преимущества этот процесс имеет при соединении разнородных и термочувствительных элементов.

Областями использования ультразвуковой сварки являются: производство полупроводников, микроприборов и микроэлементов для электроники, конденсаторов, предохранителей, реле, трансформаторов, нагревателей бытовых холодильников, приборов точной механики и оптики, реакторов, сращивание концов рулонов различных тонколистовых материалов (медь, алюминий, никель и их сплавы) в линиях их обработки, а также автомобильная промышленность [1].

## 10. Сварка взрывом

Возможность нетрадиционного использования энергии взрыва для соединения металлов в твердой фазе была открыта еще в начале 60 годов минувшего столетия практически одновременно в России и США. В Волгоградском техническом университете за сравнительно короткий срок была создана научная школа сварки взрывом. При этой технологии соединение происходит за счет совместной пластической деформации в результате соударения, вызванного взрывом быстро движущихся соединяемых частей. При этом кинетическая энергия движущихся деталей выполняет работу по совместной пластической деформации контактирующих слоев. Принципиальная схема сварки взрывом представлена на рис. 10.1. Соединяемые детали, одна из которых неподвижна, располагают на некотором расстоянии (или под определенным углом) друг от друга. На подвижную заготовку кладут взрывчатое вещество с детонатором. При срабатывании детонатора происходит процесс разложения взрывчатого вещества, создавая давление, распространяющееся позади фронта детонации.



*Рис. 10.1. Схема сварки взрывом:  
1 – детонатор; 2 – взрывчатое вещество; 3 – верхняя свариваемая деталь;  
4 – нижняя свариваемая деталь*

В результате этого подвижная заготовка получает ускоренное движение, направленное в сторону неподвижной заготовки. Соударяясь заготовки получают взаимную пластическую деформацию, необходимую для прочного соединения.

Процесс формирования прочного соединения при сварке взрывом имеет две стадии: образования физического контакта, при котором происходит сближение атомов соединяемых материалов, и их слабое химическое взаимодействие; активация контактных поверхностей с образованием активных центров, в результате чего реализуется схватывание металлов. Решающую роль в формировании сварного соединения играет пластическая деформация металла в околошовной зоне, распределяющаяся экспоненциально по толщине свариваемых заготовок и достигающая вблизи линии соединения сотен процентов. Благодаря интенсивной пластической деформации приконтактных слоев металла линия соединения свариваемых заготовок имеет волнообразный профиль.

Благодаря малому времени образования сварного соединения, недостаточному для протекания активных диффузионных процессов на межслойных границах, способ сварки взрывом обладает уникальными возможностями соединения не свариваемых обычными методами сплавов и металлов: титан + сталь; алюминий + сталь; магний + алюминий; алюминий + титан; цирконий + сталь и многие другие. Эта особенность, а также возможность изготавливать как плоские, площадью от нескольких квадратных сантиметров до десятков квадратных метров, так и криволинейные двух- и многослойные заготовки с высокими прочностными свойствами, открывает широкие перспективы перед сваркой взрывом.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, при плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, а также при сварке заготовок и некоторых деталей из разнородных металлов

Изготовление при помощи сварки взрывом биметаллических и многослойных композиционных материалов открывает широкие перспективы.

Детали, изготовленные сваркой взрывом, в отличие от аналогов, полученных другими методами, характеризуются прочноплотным соединением составляющих слоев с близким к нулю электрическим сопротивлением, отсутствием межслойной коррозии в процессе эксплуатации и высокой чистотой контактирующих поверхностей [23].

## 11. Сварка трением

Сварка трением – особый вид сварки давлением, при котором местный нагрев материала заготовок происходит в результате трения их сопряженных поверхностей друг с другом или путем использования специального инструмента.

Практическому использованию сварки трением положили начало опыты токаря-новатора А.И. Чудикова (1956 г.), получившие развитие в работах ВНИИЭСО (Россия). Эти работы послужили толчком для начала исследований сварки трением в США, Японии, Великобритании, Германии и других странах.

В 1960–1990 гг. сварку трением интенсивно исследовали и внедряли в промышленность как в СССР, так и в других странах мира. В последние десятилетия интерес к сварке трением возрос.

Классификация способов сварки трением (в виде схемы показана на рис. 11.1). Наибольшее распространение получили способы 1 и 2. Сварку трением по способу 1 называют сваркой с непрерывным приводом или конвенционной сваркой. Конвенционная сварка – разновидность сварки трением, при которой механическая энергия, постоянно поступающая от источника, непосредственно преобразуется в тепловую в тонких приповерхностных слоях металла сопряженных и подлежащих соединению поверхностей свариваемых заготовок.



Рис. 11.1. Классификация способов сварки трением

Наиболее распространенная схема выполнения конвенциональной сварки трением (способ 1, А) показана на рис. 11.2. Технологический цикл этого способа состоит в следующем:

Одной из заготовок сообщают вращательное движение, затем заготовки сближают и прилагают к ним осевое усилие нагрева (в некоторых машинах для сварки трением предусмотрена предварительная притирка поверхностей). Стадию нагрева регламентируют в машинах или временем нагрева, или совместной деформацией заготовок. После торможения подвижной заготовки прилагают усилие проковки.

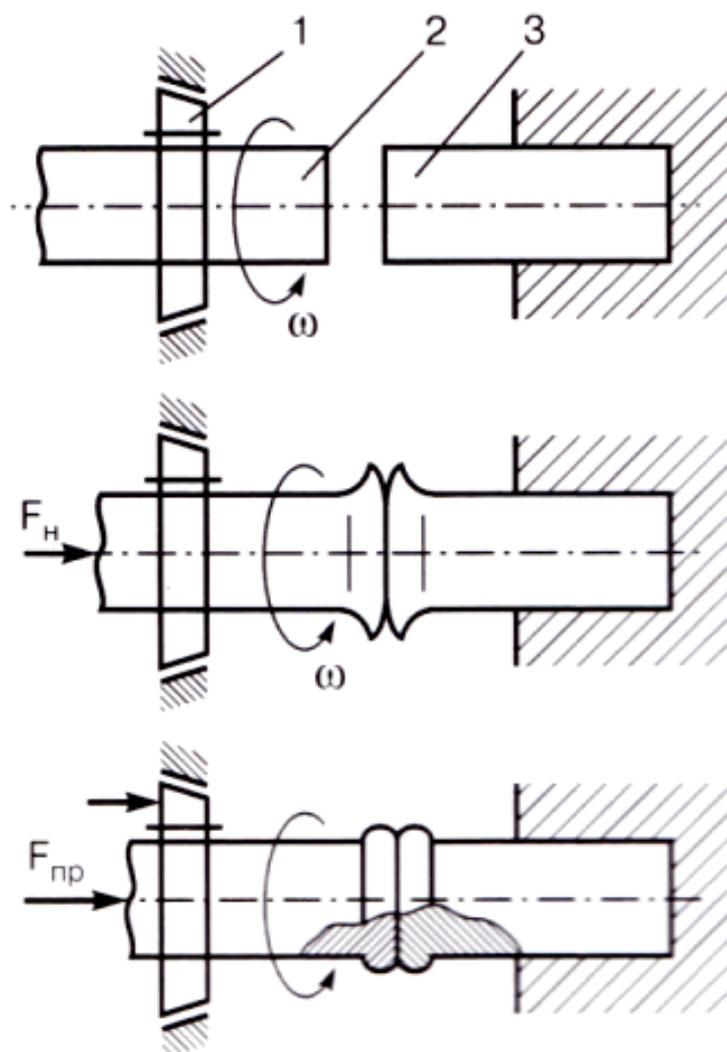


Рис. 11.2. Схема конвенциональной сварки трением с непрерывным приводом:  
1 — тормоз; 2, 3 — свариваемые заготовки

К основным достоинствам конвенциональной сварки трением относят:

- высокую производительность (35–450 сварок в час) и небольшие потери металла;

- стабильность качества сварного соединения в широком диапазоне режимов сварки;
- простоту подготовки деталей к сварке;
- уменьшение припусков на сварку по сравнению с припусками при стыковой контактной сварке;
- уменьшение расхода электроэнергии в 5–10 раз мощности сварочного оборудования этими же показателями при стыковой контактной сварке;
- простоту автоматизации и контроля параметров режима сварки;
- отсутствие ультрафиолетового излучения, мощных магнитных полей, вредных газовых выделений и разбрызгивания расплавленного металла.

В качестве недостатков упомянутого способа следует выделить:

- ограниченность вида соединения деталей (только стыковое и Т-образное соединение);
- ограниченность формы и размера сечения деталей.

Предлагают некоторые разновидности конвекционной сварки трением, которые позволяют в значительной мере преодолеть отмеченные выше недостатки.

На рис. 11.3 схематически представлены способы 1А–1Д (см. рис. 11.1). Общим для этих способов является то, что свариваемые поверхности значительным усилием прижимают друг к другу и, вращая, перемещают. При этом в начальный момент разрушаются и вытесняются из стыков различные загрязнения, а также стираются неровности на свариваемых поверхностях. В результате получается плотный контакт поверхностей и прекращается доступ воздуха к ним. В дальнейшем происходит быстрый нагрев тонких слоев металла свариваемых поверхностей. Часть нагретого металла с возможными остатками загрязнений вытесняется за пределы стыка.

После прекращения вращения деталей при их совместной пластической деформации образуется сварное соединение.

Отличительной особенностью способа 1Г является выполнение сварки длинных труб с помощью вращения зажатого между ними относительно тонкого диска. По этому способу сварки в результате износа и нагрева диск 1 становится тоньше и при осадке срезается по диаметру, близкому к внутреннему диаметру свариваемых труб 2, а его периферийная часть в виде шайбы остается вваренной между торцами [24].

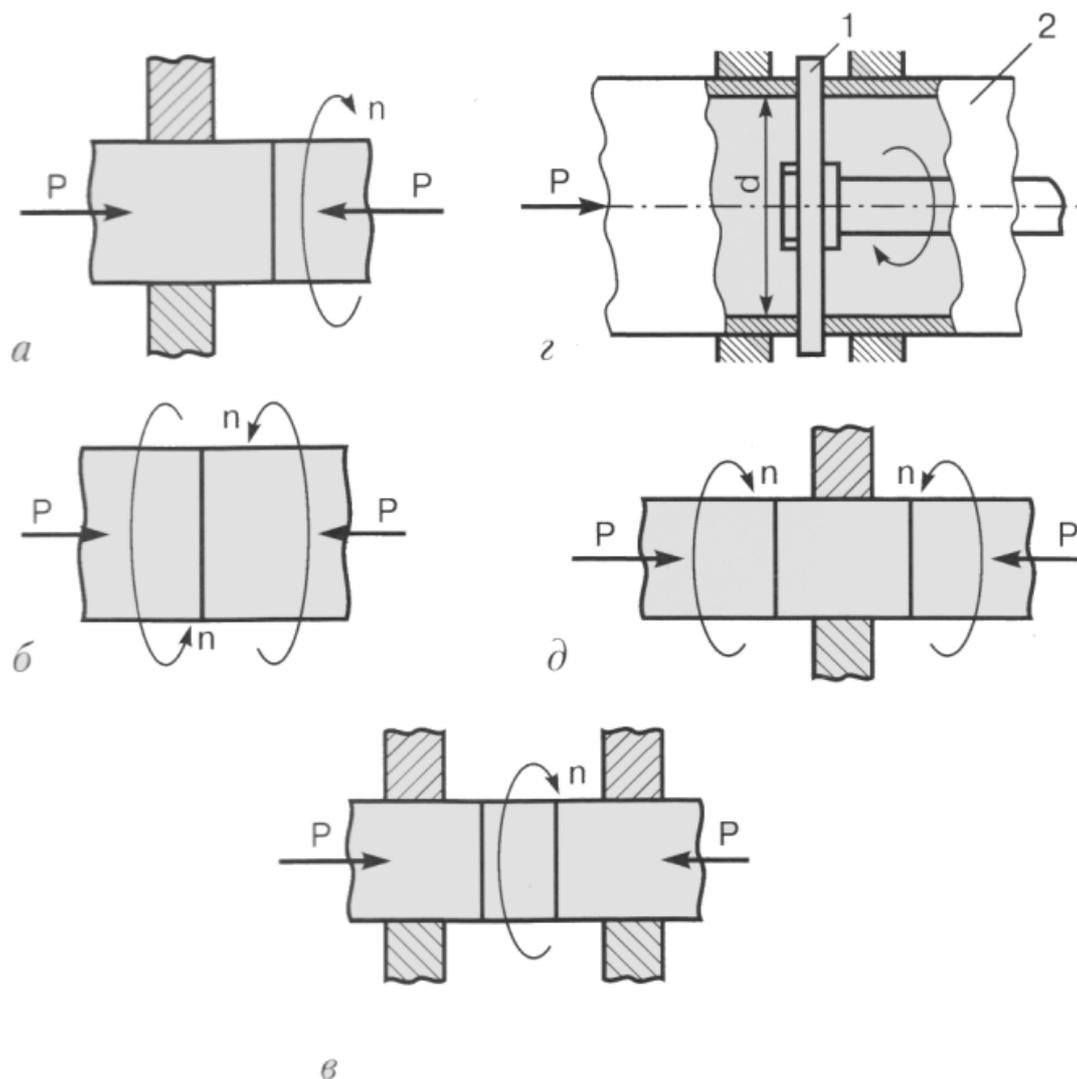


Рис. 11.3. Принципиальные схемы сварки трением:  
 а – вращение одной детали; б – вращение обеих деталей; в – крайние заготовки неподвижны, средняя вращается; г – крайние заготовки неподвижны, вращается удаляемый после сварки диск; д – вращение концевых деталей

## 12. Диффузионная сварка

В 1953 г. профессором Н.Ф. Казаковым был разработан принципиально новый способ соединения материалов – диффузионная сварка в вакууме. При диффузионной сварке сварное соединение образуется в результате совместного воздействия давления и нагрева. Отличительной особенностью диффузионной сварки является применение относительно высоких температур нагрева и низких удельных давлений, обычно не превышающих предела текучести свариваемых материалов при температуре сварки. При диффузионной сварке выделяют две основные стадии образования качественного сварного соединения.

Первая стадия – создание физического контакта, при котором все точки соединяемых материалов находятся друг от друга на расстоянии межатомных взаимодействий. Вторая стадия – формирование структуры сварного соединения под влиянием процессов релаксации. Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показали, что параметрами, определяющими процесс соединения при диффузионной сварке в вакууме, являются давление, температура, длительность их воздействия, состояние и рельеф свариваемых поверхностей. При дальнейших исследованиях было установлено, что предварительная обработка свариваемых деталей (рельеф) влияет не только на создание физического контакта, но и в значительной степени определяет протекание диффузионных процессов за счет изменения тонкой структуры поверхностных слоев. Любая подготовка свариваемых поверхностей (механическая, электролитическая, химическая и др.) не исключает образование оксидов на поверхности металла. Однако этот фактор не всегда оказывает отрицательное влияние на протекание процесса, так как для большинства металлов нагрев в вакууме до температуры, используемой при сварке ((0,7–0,8)  $T_{пл}$ ), и соответствующая выдержка во времени при этой температуре достаточны для самопроизвольной очистки свариваемых поверхностей от оксидов.

Давление, применяемое при способах сварки без расплавления материалов, по современным представлениям, выполняет три задачи:

- 1) разрушение в результате пластического течения поверхностных слоев металла и частичное удаление окисных пленок и загрязнений;
- 2) сближение свариваемых поверхностей для обеспечения физического контакта и эффективного атомного взаимодействия;
- 3) обеспечение активации поверхностей для протекания процессов диффузии и рекристаллизации.

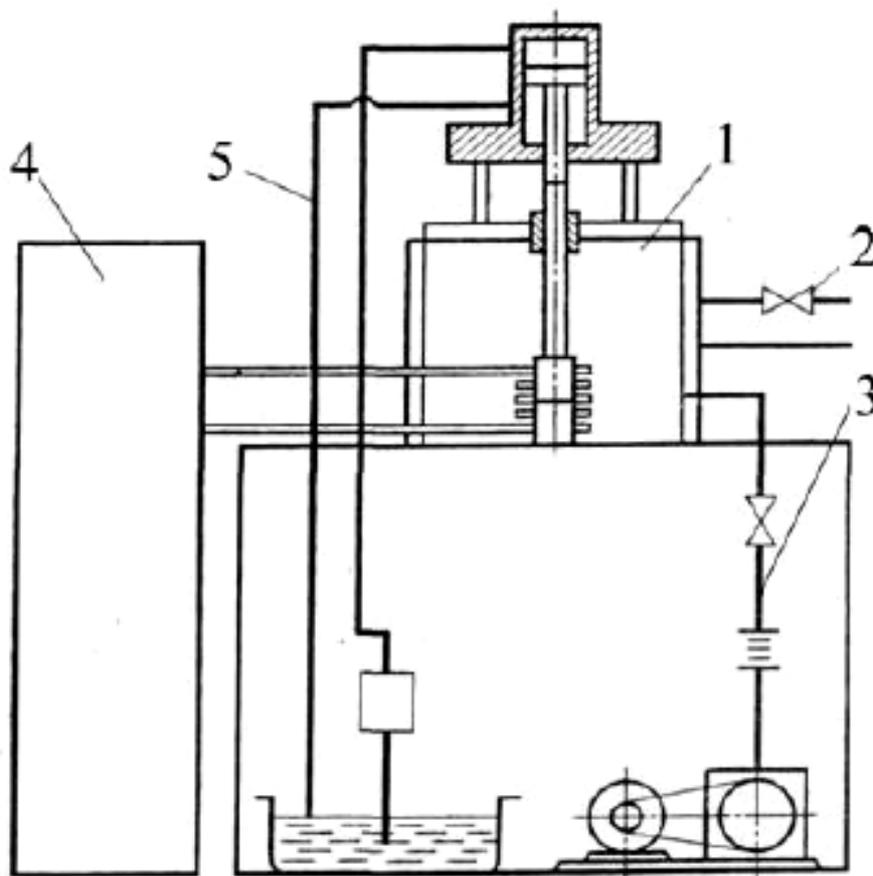
Процесс может осуществляться с использованием различных тепловых источников нагрева. Чаще всего на практике находят применение индукционный, радиационный, электронно-лучевой нагрев, а также нагрев проходящим током, тлеющим разрядом и в расплаве солей. В последнем случае расплав солей выполняет роль среды, в которой осуществляется диффузионная сварка. Кроме вакуума, в качестве среды могут быть использованы защитные или восстановительные газы. При сварке материалов, имеющих относительно небольшое сродство к кислороду, процесс можно вести на воздухе. В практике диффузионной сварки известно применение двух технологических схем процесса, различающихся характером приложения нагрузки. В одной из них используют постоянную нагрузку по величине ниже предела текучести. При этом процессы, развивающиеся в свариваемых материалах, аналогичны ползучести. Такую технологию называют диффузионной сваркой по схеме свободного деформирования. По второй схеме нагрузка и пластическое деформирование обеспечиваются специальным устройством, которое перемещается в процессе сварки с контролируемой скоростью. Такую технологию называют диффузионной сваркой по схеме принудительного деформирования. Диффузионной сваркой в вакууме практически освоено соединение около 500-ти композиций металлов, сплавов и неметаллических материалов.

К настоящему времени создано более 70-ти типов установок диффузионной сварки. Каждая установка, независимо от ее типа, должна включать в себя пять основных систем (рис. 12.1):

- создания вакуума или контролируемой атмосферы (3);
- сжатия свариваемых деталей (5);
- нагрева (4);
- охлаждения (2);
- контроля параметров сварки и управления процессом.

Разработка и создание установок для диффузионной сварки в настоящее время ведутся в направлении унификации систем (вакуумной, нагрева, давления, управления) и сварочных камер. Меняя камеру в этих установках, можно значительно расширить номенклатуру свариваемых узлов. С помощью диффузионной сварки в вакууме, кроме уже отмеченных соединений металлов и сплавов, получают высококачественные соединения керамики с коваром, медью, титаном; электровакуумных стекол, оптической керамики, сапфира, графита с металлами; композиционных и порошковых материалов и др. Соединяемые заготовки могут быть весьма различны по своей форме, иметь компактные или развитые поверхности контактирования. Геометрические размеры свариваемых деталей находятся в пределах от нескольких микрометров

(при изготовлении полупроводниковых приборов) до нескольких метров (при изготовлении слоистых конструкций).



*Рис. 12.1. Установка для диффузионной сварки:  
1 – рабочая камера; 2 – система охлаждения; 3 – вакуумная система; 4 – источник нагрева; 5 – система давления*

Способ соединения диффузионной сваркой является экономичным. Он не требует дорогостоящих припоев, специальной проволоки и электродов, флюсов, защитных газов. Более того, отпадает последующая механическая обработка и потеря ценного металла; масса конструкции не увеличивается, что имеет место при сварке, пайке и склеивании. Свойства металла в зоне соединения не изменяются, поэтому термическая обработка необязательна. Установки для диффузионной сварки можно устанавливать в линиях механической обработки и сборки деталей и узлов. Расход энергии и мощности потребления их на сварку в 4–6 раз меньше, чем, например, при контактной сварке.

Диффузионную сварку от других видов сварки отличает гигиеничность процесса: отсутствие ультрафиолетового излучения, вредных брызг металла, мелкодисперсной пыли, что весьма важно для охраны здоровья работающих.

Опыт многих предприятий, НИИ, КБ показал, что диффузионная сварка успешно конкурирует с другими традиционными видами сварки.

За последнее время взгляды на диффузионную сварку принципиально изменились. Из процесса для соединения материалов, которые трудно или невозможно соединять обычными способами сварки плавлением и пайки, она превратилась в общедоступный процесс соединения как небольших деталей, так и крупных; установлена ее конкурентоспособность с существующими способами сварки плавлением и пайкой [2], [25], [26].

### 13. Сварка под водой

Впервые в мировой практике подводную дуговую резку угольным электродом в лабораторных условиях осуществили в 1887 г. Н.Н. Бенардос и проф. Д.А. Лачинов. Продолжения эти работы не получили.

Только в начале 30-х гг. XX в. были возобновлены работы по применению сварки под водой. В 1932 г. К.К. Хренов разработал электроды для подводной сварки и провел натурные испытания их в Черном море. В середине 30-х гг. ручная дуговая сварка под водой была применена для ряда работ, например ремонта парохода «Уссури» и подъема парохода «Борис». Однако в те годы подводная сварка применялась эпизодически.

Только в годы войны возникла насущная потребность в подводной сварке и резке при ремонте кораблей, мостов, при аварийных и спасательных работах. К.К. Хренов продолжил исследования и разработку техники сварки и резки под водой в специальной лаборатории, организованной в марте 1942 г. при Московском электромеханическом институте инженеров железнодорожного транспорта. В результате были созданы электродные покрытия, обеспечивающие стабильное горение дуги под водой. Результаты всесторонних исследований свойств и состава металла швов, сваренных под водой, показали возможность применения сварки для ремонта подводных частей корпусов кораблей прямо на плаву. По примеру нашей страны сварку и резку под водой начали применять и другие воюющие страны.

В послевоенные годы значительно расширились области применения и объемы подводной сварки. Строительство морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений, подводных трубопроводов различного назначения, ремонт судов на плаву, восстановление шлюзовых затворов портовых сооружений и других объектов оказались невыполнимыми без применения подводной сварки. Однако обеспечить прочноплотные швы и высокую производительность труда существовавшие тогда способы подводной сварки не могли. Кроме того, для выполнения подводной сварки по «мокрому» методу требовались водолазы-сварщики высокой квалификации. «Мокрый» метод – процесс, осуществляющийся без удаления воды из зоны сварки.

При ручной дуговой сварке мокрым способом (рис. 13.1) используются штучные электроды 2 с нанесенным на обмазку водонепроницаемым слоем (парафин, нитролаки и др.). Электроды закрепляют в специальные электрододержатели, имеющие надежную электроизоля-

цию по всей поверхности. С помощью кабеля они подсоединяются к клемме источника питания.

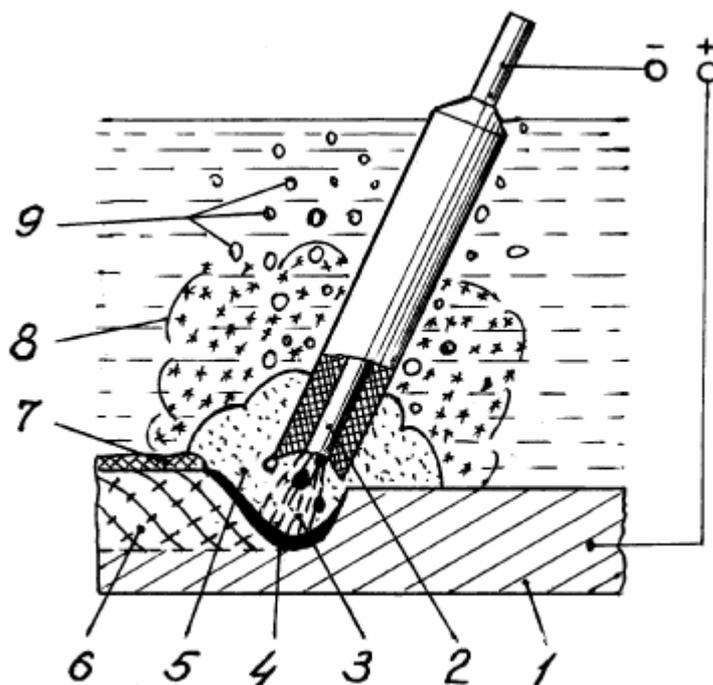


Рис. 13.1. Принципиальная схема горения дуги под водой:

1 – свариваемое изделие; 2 – электрод; 3 – электрическая дуга; 4 – сварочная ванна; 5 – газовый пузырь; 6 – сварной шов; 7 – шлак; 8 – облако взвесей; 9 – пузырьки газа

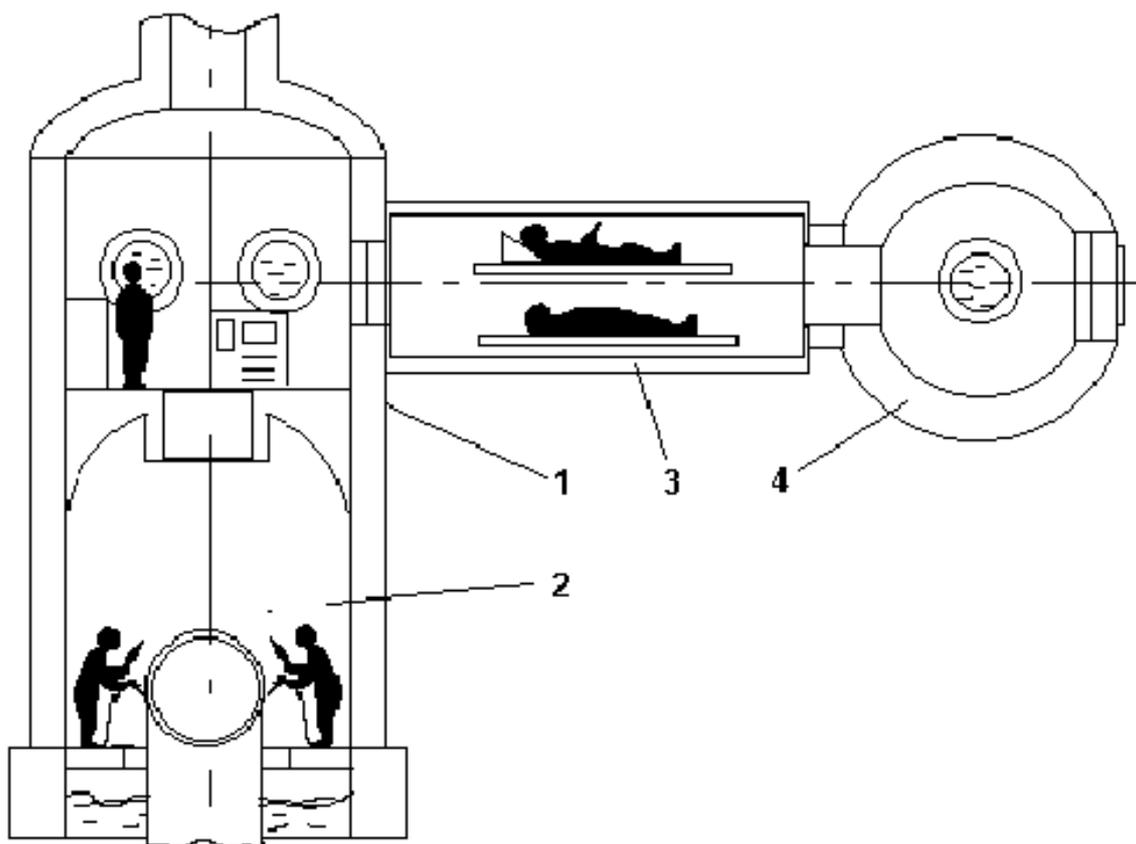
Возбужденная дуга 3, несмотря на окружающую воду, горит устойчиво благодаря образованию в зоне ее горения газового пузыря 5, образуемого за счет испарения и разложения воды, паров и газов расплавленного металла и обмазки электрода. Избыточное давление в газовом пузыре неустойчиво, поэтому его размеры хаотически изменяются с выделением газов в виде пузырьков 9, всплывающих на поверхность. Вода разлагается в дуге на свободный водород и кислород; последний соединяется с металлом, образуя окислы. Взвешенные в воде продукты сгорания металла и обмазки, состоящие преимущественно из окислов железа, образуют облако взвесей 8, затрудняющее слежение за дугой и процессом плавления металла.

Ручная подводная сварка обладала исключительной маневренностью и простотой оборудования, а для ее осуществления не требовались специальные приспособления для удаления воды из зоны сварки, что обуславливало низкую стоимость работ. Попытки улучшить механические свойства сварных соединений и механизировать процесс в конце 50-х гг. XX века не увенчались успехом.

В эти годы за рубежом разрабатывается «сухой» способ подводной сварки (рис. 13.2). Способ основан на применении специальных обитаемых камер различной конструкции. Камеры могут быть различного размера и конструкции:

- большие глубоководные, когда и место сварки и сварщик изолированы от водной среды за счет подачи воздуха в камеру и оттеснения воды за ее пределы;
- водолазные колокола, обеспечивающие выполнение сварки в «сухой» среде, хотя сам сварщик находится по пояс в воде;
- портативный сухой бокс, который обеспечивает «сухую» среду только в зоне сварки.

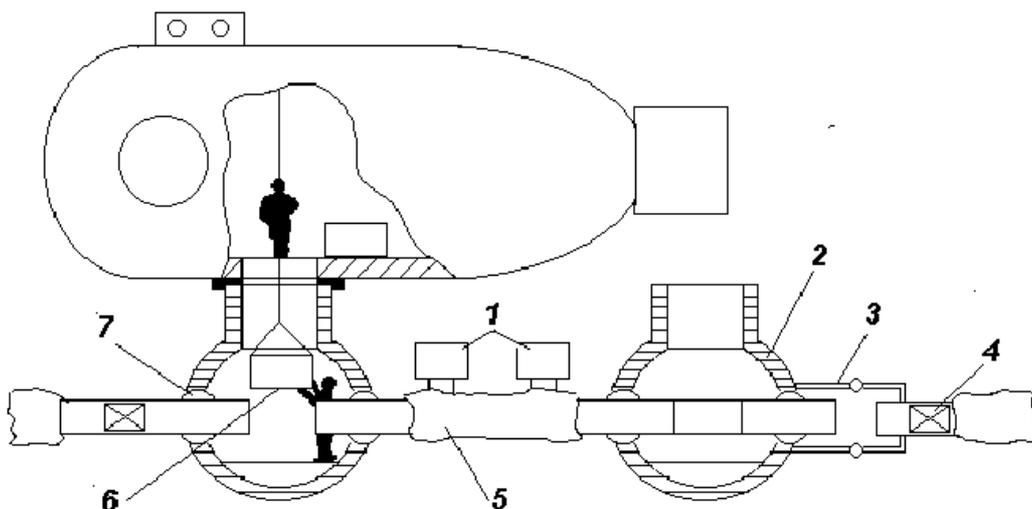
Применение каждого варианта показало, что сварные швы получаются такого же качества, как и на суше, но имеются и существенные недостатки, которые не привели к широкому распространению «сухой» подводной сварки.



*Рис. 13.2 Подводная сварка в сухой среде:*

*1 – гидротанк; 2 – заполняемый водой отсек гидротанка; 3 – жилой модуль;  
4 – шлюзовой модуль*

На рис. 13.3 представлен общий вид системы с использованием сварочно-монтажных камер с нормальным атмосферным давлением.



*Рис. 13.3. Система с глубоководными камерами с нормальным давлением: 1 – цистерны обеспечивающие плавучесть; 2 – камера с атмосферным давлением; 3 – гидравлический зажим; 4 – заглушка; 5 – заменяемый трубопровод; 6 – присоединяемый участок трубопровода; 7 – подвижный зажим*

При применении глубоководных камер, как показала практика, необходимы предварительная подготовка и специальное техническое сопровождение. Оказалось, что необходимо разработать и изготовить камеру нужной конструкции, подготовить технические средства (плавучие краны, насосы и другое оборудование), задействовать обслуживающий персонал. Такой вариант выполнения подводной сварки оказался достаточно дорогостоящим.

Два других варианта оказались менее дорогостоящими, но и менее маневренными и универсальными, чем «мокрый» способ подводной сварки.

В 1965 г. в нашей стране были начаты исследования, позволившие устранить недостатки «мокрого» способа.

Анализ подводной сварки «мокрым» способом показал, что основными причинами низких механических характеристик сварных швов являются пористость за счет растворения водорода, шлаковые включения за счет окисления компонентов металла кислородом, увеличение скорости охлаждения за счет контакта нагретого металла с водой. Низкая производительность подводной сварки не может быть преодолена при использовании покрытых электродов, так как смена их через каждые 1–2 минуты является в подводных условиях сложной операцией, а козырек обмазки ухудшает наблюдение за формированием шва.

Проведенные работы показали, что наиболее перспективной является полуавтоматическая сварка. Метод достаточно маневренный и универсальный, а механизированная подача проволоки позволяет дли-

тельное время вести процесс сварки без перерывов. Поскольку проволока имеет меньший диаметр, чем электрод, и не имеет покрытия, создаются благоприятные условия для наблюдения за формированием сварного шва.

Применение сплошной проволоки без защиты зоны сварки и с подачей защитных газов (аргон, углекислый газ) не обеспечили получение необходимых механических свойств сварных соединений. Дальнейшие исследования показали, что эффективная защита зоны сварки возможна при использовании порошковых самозащитных проволок. Разработанная в Институте электросварки им. Е.О. Патона порошковая проволока марки ППС-АН1 диаметром 1,2–2,0 мм впервые позволила провести подводную сварку «мокрым» способом с получением качественных сварных соединений. При современном уровне техники дуговая сварка порошковой проволокой «мокрым» способом осуществляется на глубине до 30 м. Существуют серьезные ограничения по номенклатуре металлов, пригодных для сварки таким способом. С увеличением глубины резко изменяются свойства дуги, интенсифицируется взаимодействие расплавленного металла с окружающей средой и становится проблематичным получение качественного соединения. Кроме того, следует учитывать, что «мокрый» способ подходит для глубины, доступной для человека в скафандре – не более 120–160 м.

Разработка специального оборудования для подводной полуавтоматической сварки также потребовала решения ряда сложных задач, которые были успешно завершены созданием полуавтомата для подводной сварки А1660.

Механизированная подводная сварка применяется для строительства и ремонта металлоконструкций различного назначения. Проводятся работы по дальнейшей механизации и автоматизации процесса подводной сварки. Разрабатываются автоматы, которые смогут осуществлять сварку под водой с минимальным участием человека. Совершенствуются системы дистанционного наблюдения и управления процессом.

Не исключена возможность применения в указанных условиях контактной стыковой сварки оплавлением. Предварительные эксперименты и опытно-промышленная проверка разработанной в ИЭС им. Е.О. Патона установки для автоматической стыковой сварки оплавлением труб под водой при строительстве и ремонте морских трубопроводов подтвердили перспективность использования этого способа сварки.

Очевидно, что в ближайшем будущем необходимо будет совершенствовать как «мокрый», так и «сухой» способы сварки, а также раз-

рабатывать новые механизированные способы сварки и оборудование, пригодные для использования на километровой глубине [2], [27].

## 14. Сварка в космосе

В начале 60-х гг. прошлого века по инициативе главного конструктора ракетно-космических систем академика С.П. Королева была поставлена принципиально новая задача – исследовать возможность выполнения сварки непосредственно в космосе. Научным руководителем всего комплекса исследований являлся академик Б.Е. Патон.

При проведении исследований предполагалось, что сварка в космосе будет использоваться для выполнения следующих работ:

а) ремонт космических кораблей, орбитальных станций и различных металлоконструкций, находящихся в открытом космосе, на Луне и других планетах;

б) сборка и монтаж металлоконструкций, находящихся в орбитальном полете или расположенных на поверхности Луны и планет.

Условия в космосе, как известно, значительно отличаются от земных. Глубокий вакуум, невесомость, перепад температур, излучения, электрические и магнитные поля Земли и других планет оказывают существенное влияние на характер физико-химических процессов, протекающих при сварке, и на условия работы сварщика. В связи с этим необходимо было разработать технику и технологию выполнения сварочных работ, учитывающие перечисленные выше особенности.

На Земле трудно воссоздать условия межпланетной среды. Поэтому предварительные исследования выполнялись по этапам, на каждом из которых имитировались отдельные особенности космического пространства (вакуум, невесомость и др.) (рис. 14.1).

Прежде всего была поставлена задача выбора наиболее перспективных для условий космоса видов сварки. В качестве критериев были выбраны следующие характеристики видов сварки:

- универсальность;
- возможность выполнения резки материалов;
- высокая надежность;
- возможность автоматизации;
- работоспособность в вакууме и невесомости.

Проведенный анализ показал, что наиболее перспективными для применения в космосе являются электронно-лучевая сварка, сварка сжатой дугой низкого давления и плавящимся электродом, а также контактная точечная сварка.

Эксперименты проводились в 1965 г. в летающей лаборатории ТУ-104, позволяющей кратковременно (до 25–30 с) воспроизводить состояние невесомости.



*Рис. 14.1. Стенд-тренажер для исследования ручной сварки в условиях, имитирующих космические*

Электронно-лучевая сварка и резка разных металлов производились при постоянной мощности пучка 1кВт, силе тока луча 70 мА и скорости сварки (резки) 30 м/ч. При визуальном наблюдении за ходом сварки и резки в условиях невесомости и перегрузок не было установлено внешних отличий по сравнению с процессами в земных условиях. На основании проведенных опытов были сделаны обоснованные выводы о том, что в условиях невесомости можно получать качественные сварные соединения различных металлов и сплавов. Процесс электронно-лучевой резки также протекает без заметных изменений по сравнению с обычными земными условиями.

На основании проведенных опытов по сварке и резке сжатой дугой низкого давления было установлено следующее. В условиях динамической невесомости можно получать качественные стыковые, отбортованные и нахлесточные сварные соединения. Колебания режимов сварки в пределах 20 % практически не сказываются на качестве сварного

соединения. При сварке сжатой дугой металла малых толщин размеры сварочной ванны малы и формирование швов практически не зависит от сил гравитации, а определяется силами поверхностного натяжения. Для условий космоса может быть перспективным способ микроплазменной сварки. Он дает высокую концентрацию энергии, соизмеримую с электронным лучом, и соответственно пригоден для сварки и резки тонких деталей.

Клещи для точечной сварки были выполнены со встроенным трансформатором 1 кВт и массой 1,5 кг. Космические условия не оказали влияния на процесс точечной сварки. В этом случае невесомость влияет лишь на условия работы человека.

На базе проведенных исследований была разработана и изготовлена специальная сварочная установка «Вулкан» (рис. 14.2–14.3) для проверки названных выше видов сварки в условиях космоса.

В соответствии с общей программой космических исследований первый в мире эксперимент по сварке в космосе был выполнен 16 октября 1969 года на космическом корабле «Союз-6» летчиками-космонавтами Г.С. Шониным<sup>56</sup> и В.Н. Кубасовым<sup>57</sup>. Используя установку «Вулкан», космонавты запустили автоматические процессы сварки электронным лучом, сжатой дугой низкого давления и плавящимся электродом.



*Рис. 14.2. Установка «Вулкан»*



*Рис. 14.3. Б.Е Патон, С.П. Королев и сварочная установка «Вулкан»*

В условиях орбитального полета с помощью острофокусного электронного луча были выполнены:

- автоматическая сварка тонколистовой нержавеющей стали и титанового сплава;
- разделительная резка сплавов алюминия и титана;
- исследования поведения ванны расплавленного металла большего объема, чем в условиях летающей лаборатории.

Было показано, что процессы плавления, сварки и резки электронным лучом на орбите протекают стабильно, обеспечивая необходимые условия для нормального формирования сварных соединений и поверхностей резов.

Основные параметры режима сварки плавящимся электродом, а также структура шва и зоны термического влияния, полученные на корабле «Союз-6», оставались практически такими же, как и в летающей лаборатории. Форма и качество швов, полученных этим способом на нержавеющей сталях класса 18–8 и титановых сплавах, были вполне удовлетворительными.

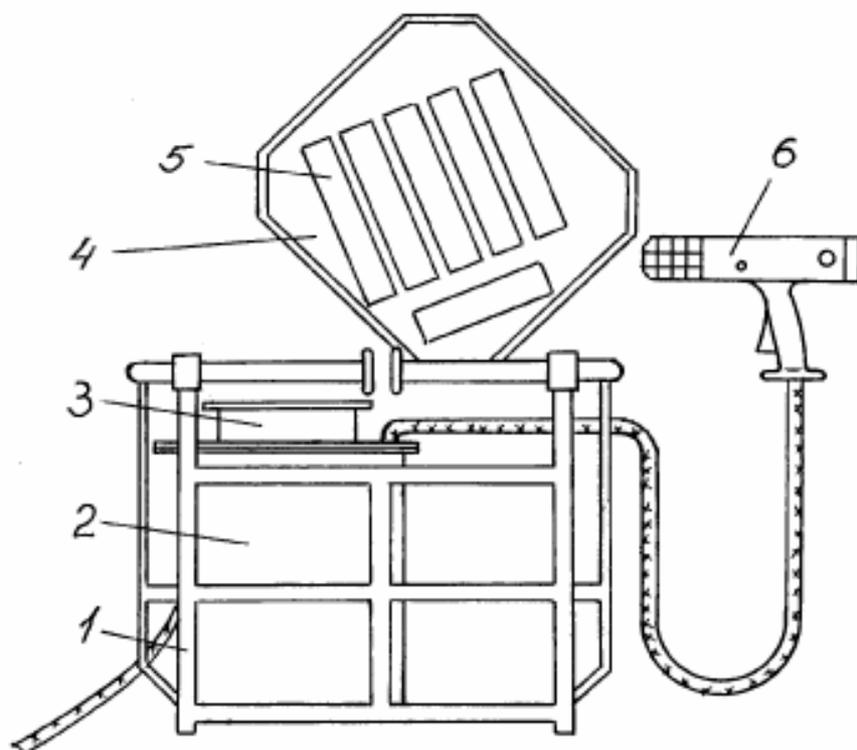
Сварка сжатой дугой низкого давления на установке «Вулкан» не дала ожидаемых результатов.

Эксперимент по сварке в космосе открыл новую страницу в освоении Вселенной. Впервые в мировой практике в космическом пространстве осуществлен технологический процесс, связанный с нагревом и плавлением металла. В целом к началу 70-х гг. XX в. вопрос о принципиальной возможности автоматической сварки и резки в космосе был решен положительно. В то же время существовала номенклатура работ, в том числе практически все виды ремонта, которые не могли выполняться с использованием автоматических процессов. Поэтому на следующем этапе исследований была поставлена задача по разработке аппаратуры и технологии ручной сварки и резки в космосе.

Еще в период испытаний установки «Вулкан» специалисты Института электросварки им. Е.О. Патона задумывались над созданием компактного, ранцевого универсального инструмента с автономным источником питания, который мог бы позволить космонавту проводить работы, связанные с ремонтом или монтажом, на любом участке поверхности космического объекта. Необходимые для этих целей операции – резка, сварка, пайка и нанесение покрытий, а средство воздействия на материалы – электронный луч.

После многочисленных исследований на земле, в барокамере, в летающей лаборатории был разработан универсальный ручной инструмент (рис. 14.4).

Все узлы инструмента находятся в контейнере размером 400x450x500 мм, сваренном из трубчатых элементов, что обеспечило ему достаточную жесткость при малой массе. В контейнере смонтированы: вторичный источник питания с пультом, кабели, соединяющие источник питания с бортовой розеткой и ручным инструментом, собственно сам рабочий инструмент в специальном ложементе. Контейнер можно носить за плечами или закреплять на внешней поверхности орбитальной станции. К контейнеру крепится планшет с образцами материалов для сварки, резки, пайки и нанесения покрытий. Рабочий инструмент – это моноблок, состоящий из высоковольтного источника питания и двух электронных пушек (рис. 14.4). Одна из них предназначена для выполнения технологических операций резки, сварки и пайки, а другая – предназначена для нанесения покрытий. Масса универсального ручного инструмента немногим более 30 кг, а моноблок, которым оперирует космонавт, чуть более 2,5 кг. Потребляемая мощность – 750 Вт, и ее можно регулировать в зависимости от режима работы и обрабатываемого материала.

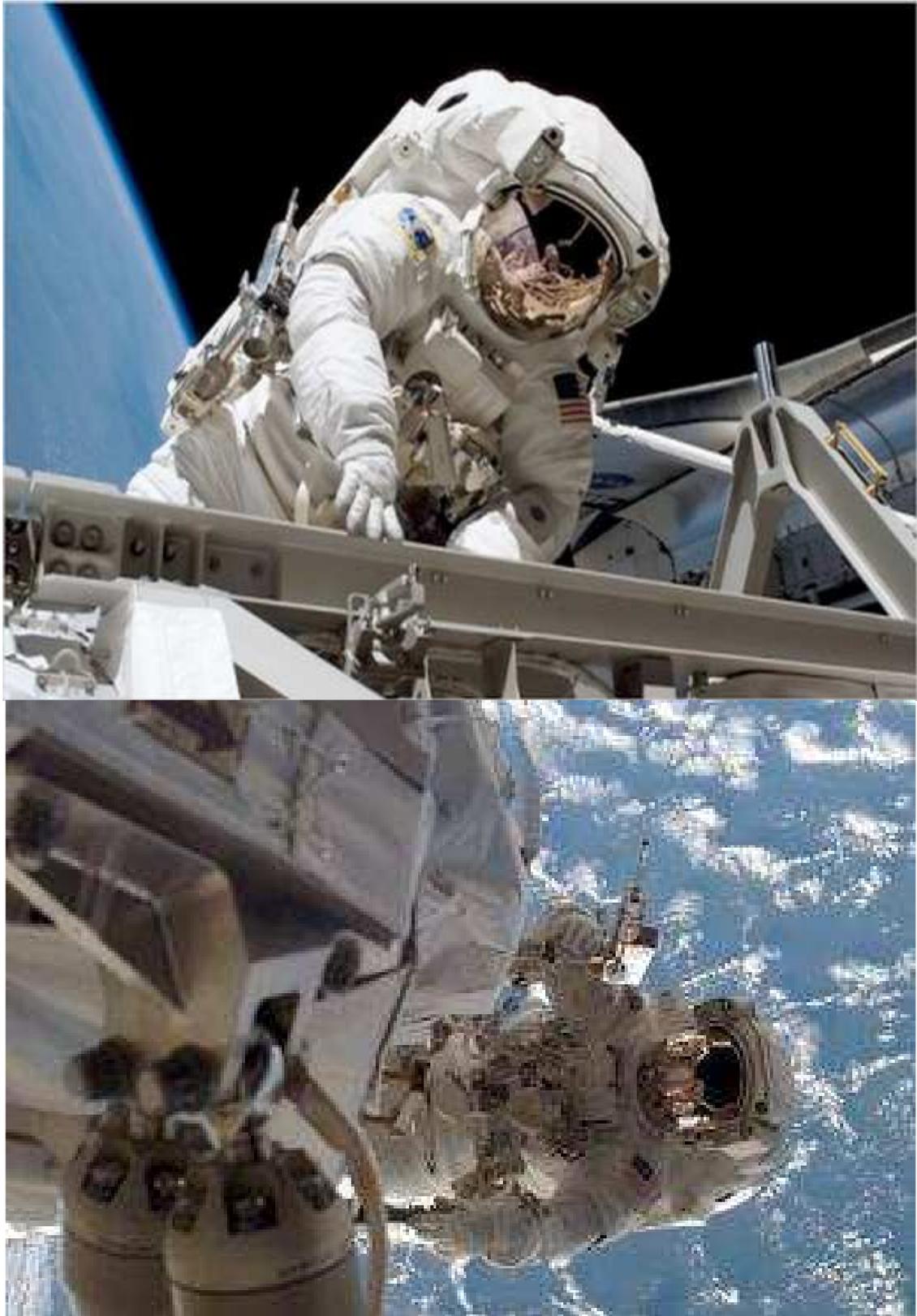


*Рис. 14.4. Универсальный ручной инструмент:  
1 – контейнер, сваренный из трубчатых элементов; 2 – приборный отсек, 3 – пульт управления, 4 – планшет для закрепления и смены обрабатываемых образцов;  
5 – обрабатываемые образцы; 6 – рабочий инструмент*

Универсальный ручной инструмент был включен в состав научной аппаратуры станции «Салют-7».

25 июля 1984 г. космонавты В. Джанибеков<sup>58</sup> и С. Савицкая<sup>59</sup> вышли в открытый космос. В. Джанибеков оборудовал сварочный пост и подготовил инструмент к работе. Рабочее место оператора-сварщика отвечало всем требованиям техники безопасности. С. Савицкая выполнила операции резки, сварки, пайки и нанесения покрытий. Работа в открытом космосе продолжалась три часа (рис. 14.5).

Результаты проведенных исследований на установке «Вулкан» и с помощью универсального ручного инструмента убедительно показали, что в космосе операции соединения металлов, резки и нанесения покрытий могут быть успешно использованы для любых ремонтных и монтажных работ.



*Рис. 14.5. Фрагменты сварки в космосе*

В 1986 г. космонавты Л. Кизим<sup>60</sup> и В. Соловьев<sup>61</sup> продолжили эксперименты, соединяя элементы крупногабаритных ферменных конструкций. Одновременно были разработаны методы, технология и аппаратура для сборки и ремонта конструкций в космосе. Логическим завершением этих работ явилось создание в ИЭС им. Е.О. Патона комплекса электронно-лучевой сварочной аппаратуры «Универсал», предназначенной для оснащения больших орбитальных станций типа «Мир-2». «Универсал» имеет в своем составе четыре электронно-лучевых инструмента и ряд вспомогательных приспособлений, позволяющих выполнять в космосе сварочные работы широкого диапазона при профилактическом обслуживании и ремонте различных космических аппаратов. В 1990–1991 гг. комплекс прошел наземные испытания и получил высокую оценку [2], [28], [29], [30], [31], [32].

## Заключение

В настоящее время сварка широко применяется для неразъемного соединения многих видов металлических, неметаллических и композиционных конструкционных материалов.

Во многих случаях сварка является единственно возможным или наиболее эффективным способом создания неразъемных соединений конструкционных материалов и получения ресурсосберегающих заготовок, максимально приближенных по геометрии к оптимальной форме готовой детали или конструкции.

Проблема развития сварочного производства относится к числу наиболее актуальных в экономике любого государства, а ее значимость постоянно возрастает.

Сварка и родственные технологии продолжают активно и всесторонне развиваться как вглубь, так и вширь. Создаются теоретические и технологические предпосылки изготовления новых изделий в традиционных областях сварочного производства, а также освоения все более широких сфер применения, которые раньше считались «экзотическими».

Особое значение приобретает развитие таких технологий сварки как: лазерная сварка, сварка трением, диффузионная сварка, сварка взрывом, электронно-лучевая сварка, подводная сварка (приобрела большое значение в связи с освоением Мирового океана), электросварка живых организмов в практике хирургических операций.

Большое значение, сегодня, уделяется разработке новых источников питания для различных способов сварки. Широкое распространение в последние годы получили инверторные источники питания, которые используются для дуговой сварки плавящимся и неплавящимся электродами, ультразвуковой сварки, микроплазменной сварки, контактной сварки малых и средних толщин.

В настоящее время в мире большое значение приобретает создание комплексно-автоматизированного сварочного производства. Основу комплекса составляют система программирования роботов или система автоматизированного управления производством, системы слежения за стыком и адаптированного управления, нескольких сварочных роботов или автоматизированных машин, сварочные источники питания и расходные материалы.

В промышленности, строительстве и сельском хозяйстве все более широкое применение находят полимерные материалы. Использование

этих материалов снижает вес изделий, габаритные размеры, эксплуатационные расходы и повышает производительность труда. В связи с широким использованием полимеров в качестве конструкционных материалов возникла проблема их соединения. В промышленности используется несколько методов сварки полимеров: теплоносителями, ультразвуком, инфракрасным излучением и др. Предстоит дальнейшая работа по совершенствованию методов сварки полимеров и пластмасс.

Уже сейчас широкое применение сварка находит при изготовлении космических кораблей и ракетных двигателей, а в перспективе предстоит широкое использование сварки при завоевании космоса. Сварка будет использоваться при строительстве космических станций на околоземных орбитах, при изготовлении и сборке космических кораблей за пределами земной атмосферы, при строительстве стартовых площадок и взлетных устройств на других планетах, при освоении других миров.

В ряде случаев эксплуатации при экстремальных температурных условиях, в чрезвычайно агрессивных средах, в потоках нейтронов высокой интенсивности и под воздействием других особых факторов даже эти металлы не могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к изделиям условиями их работы. Вследствие этого создаются материалы, имеющие особые свойства. Кроме того, к широко применяемым материалам в ряде случаев начинают предъявлять повышенные требования в связи с использованием их в новых видах ответственных конструкций.

В связи с этим перед сварщиками возникают все новые и новые задачи разработки более совершенной технологии сварки широко применяемых и новых материалов, что требует или модернизации существующего оборудования и технологии, или разработки новых более совершенных методов сварки.



## Продолжение приложения

В 1657 году изобрел водяной барометр, с помощью которого в 1660 году предсказал надвигающуюся бурю за 2 часа до её появления, таким образом, войдя в историю как один из первых метеорологов.

В 1663 изобрёл один из первых электростатических генераторов, производящих электричество трением – шар из серы, натираемый руками. В 1672 году обнаружил, что заряженный шар потрескивает и светится в темноте (первым наблюдал электролюминесценцию). Кроме того, им было обнаружено свойство электрического отталкивания однополярно заряженных предметов [34].

<sup>3</sup> **Питер ван Мушенбрук** (Мюссенбрук) (нидерл. Pieter (Petrus) van Musschenbroek, 14 марта 1692, Лейден – 19 сентября 1761, Лейден) – голландский физик, создатель «лейденской банки».



Мушенбрук известен прежде всего своими работами по электричеству. Он обратил внимание на различный характер электризации стекла и янтаря, что способствовало открытию в 1733 году Шарлем Франсуа Дюфе «смоляного» и «стекляного» электричества (положительного и отрицательного, согласно терминологии Бенджамина Франклина). К числу наиболее известных достижений Мушенбрука принадлежит лейденская банка — первый конденсатор, изобретенный им в 1746 году. При этом он создал первый прообраз его внешней обкладки (в первых опытах в ее качестве использовалась рука экспериментатора, державшего банку). Мушенбрук обратил внимание на физиологическое действие разряда, сравнив его с ударом скала (ученому принадлежало первое использование термина «электрическая рыба»), провел опыты для проверки своих предположений. При этом он отрицал электрическую природу молнии, пересмотрев свои взгляды лишь после знаменитых опытов Франклина. Независимо от него и несколько ранее принцип конденсатора открыт померанским католическим дьяконом Эвальдом фон Клейстом 11 октября 1745 года.

Среди других научных тем, которыми занимался Мушенбрук, – теплота и оптика. Он провел первые опыты по тепловому расширению твердых тел, в 1731 году изобрел для этих целей пирометр, который позже использовал для определения температуры плавления ряда металлов. В 1751 году построил таблицы удельных весов многих веществ. Занимался также исследованием прочности строительных материалов, проблемой поглощения света различных цветов в воздухе [35].

<sup>4</sup> **Ломоно́сов Михаи́л (Миха́йло) Васи́льевич** (8 (19) ноября 1711, село Денисовка, Россия – 4 (15) апреля 1765, Санкт-Петербург, Российская империя) – первый русский учёный-естествоиспытатель мирового значения, энциклопедист, химик и физик; он вошёл в науку как первый химик, который дал физической химии определение, весьма близкое к современному, и предназначал обширную программу физико-химических исследований; его молекулярно-кинетическая теория тепла во многом предвосхитила современное представление о строении материи и многие фундаментальные законы, в числе которых одно из начал термодинамики; заложил основы науки о стекле. Астроном, приборостроитель, географ, металлург, геолог, поэт, утвердил основания современного русского литературного языка, художник, историк, поборник развития отечественного просвещения, науки и экономики. Разработал проект Московского университета, впоследствии названного в его честь. Открыл наличие атмосферы у планеты Венера.

Статский советник, профессор химии (с 1745), и действительный член Санкт-Петербургской Императорской и почётный член Королевской Шведской академии наук.



Михаил Ломоносов родился в (Архангельская область) деревне Мишанинской Куростровской волости Двинского уезда Архангелогородской губернии в зажиточной семье помора Василия Дорофеевича (1681–1741) и дочери просвирницы погоста Николаевских Матигор, Елены Ивановны (урождённой Сивковой) Ломоносовых. Отец, по отзыву сына, был по натуре человек добрый, но «в крайнем невежестве воспитанный». Мать М.В. Ломоносова умерла очень рано, когда ему было девять лет. В 1721 году отец женился на Феодоре Михайловне Усковой, дочери крестьянина соседней Ухтоостровской волости. Летом 1724 года и она умерла. Через несколько месяцев, возвратившись с промыслов, отец женился в третий раз – на вдове Ирине Семёновне (в девичестве Корельской). Для тринадцатилетнего Ломоносова третья жена отца оказалась «злой и завистливой мачехой».

Михаил начал помогать отцу с десяти лет. Вместе они ходили рыбачить в Белое море и до Соловецких островов. Нередкие опасности плавания закаляли физические силы юноши и обогащали его ум разнообразными наблюдениями. Влияние природы русского севера легко усмотреть не только в языке М.В. Ломоносова, но и в его научных интересах: «вопросы северного сияния, холода и тепла, морских путешествий, морского льда, отражения морской жизни на суше – всё это уходит далеко вглубь, в первые впечатления молодого помора».

Грамоте обучил Михайла Ломоносова дьячок местной Дмитровской церкви С.Н. Сабельников. «Вратами учёности», по его собственному выражению, для него делаются «Грамматика» Мелетия Смотрицкого, «Арифметика» Л.Ф. Магницкого, «Стихотворная Псалтырь» Симеона Полоцкого. В четырнадцать лет юный помор грамотно и чётко писал.

Жизнь Ломоносова в родном доме делалась невыносимой, наполненной постоянными ссорами с мачехой. Особенно ожесточала мачеху страсть Ломоносова к книгам. Узнав, что отец хочет женить его, Ломоносов решил бежать в Москву. Он прикинулся больным, женитьбу пришлось отложить.

В декабре 1730 года 19-летний Михаил отправляется вместе с караваном с рыбой из Холмогор в Москву. Путешествие в Москву выглядело как бегство, поскольку будущий учёный покинул дом ночью, тайно, ни с кем не простившись. Долгое время его считали беглым. Ломоносов взял с собой, помимо одежды (две рубахи и тулуп), лишь подаренные ему соседом «Грамматику» Смотрицкого и «Арифметику» Магницкого. Отправился он пешком, нагнав караван лишь на третий день и упрямил рыбаков разрешить ему идти вместе с ними. Путешествие до Москвы заняло три недели, и в начале января 1731 года Ломоносов прибыл в Москву.

Чтобы поступить в «Спасские школы», то есть, в Московскую славяно-греко-латинскую академию, Ломоносову пришлось подделать документы и выдать себя «за сына холмогорского дворянина».

В письме И.И. Шувалову (10 мая 1753 года) он вспоминает обстоятельства своей жизни того времени и рассказывает о страстной тяге своей к учёбе, бедности («один алтын в день») и насмешках малолетних одноклассников:

Ломоносов зарекомендовал себя как прилежный ученик. В библиотеке Заиконоспасского монастыря он читал летописи, патристику и другие богословские книги, – издания светского содержания и философские, и даже – физические и математические сочинения; «находимыя в оной книги утвердили его в языке славянском». Современные исследователи отмечают глубокое знакомство Ломоносова с самыми разными жанрами древнерусской литературы.

В 1734 году Ломоносов отправляется в Киев, где на протяжении нескольких месяцев обучается в Киево-Могилянской академии, но, не найдя там совершенно материалов для физики и математики, он «прилежно перечитывал летописи и творения святых отцов».

## *Продолжение приложения*

В 1735 году, не дойдя ещё до богословского класса, Ломоносов был вместе с другими двенадцатью учениками Спасского училища отправлен в Петербург и зачислен в студенты университета при Академии Наук. По одной из версий, богословская карьера Ломоносова оборвалась из-за вскрывшегося подлога документов при поступлении. Рукоположение не состоялось, но способный семинарист был направлен на ниву естествознания. В первые дни пребывания в Петербурге Ломоносов и его товарищи поселились при самой Академии Наук, а в дальнейшем переехали на жительство в снятое Академией каменное здание новгородской епархии на 1-й линии Васильевского острова, около Невы. Для них были куплены простые деревянные кровати с тюфяками, по одному маленькому столу и стулу, на всех три платяных и три книжных шкафа. Им были выданы необходимые одежда, обувь, бельё и т. д. Одним из существенных пробелов в их образовании было то, что они не знали немецкого языка, распространённого в то время в Академии. Занятия начались с изучения немецкого языка, которому их обучал ежедневно учитель Христиан Герман.

Под руководством В.Е. Адодурова он начал изучать математику, у профессора Г.В. Крафта знакомился с экспериментальной физикой, самостоятельно изучал стихосложение. По свидетельству ранних биографов, в течение этого довольно непродолжительного периода обучения в Петербургской академии Ломоносов «слушал начальные основания философии и математики и прилежал к тому с крайнею охотою, упражняясь между тем и в стихотворении, но из сих последних его трудов ничего в печать не вышло. Отменную оказал склонность к экспериментальной физике, химии и минералогии».

В марте 1736 года Академия Наук (в лице президента Иоганна Корфа) принимает решение отправить в Европу 12 наиболее способных молодых людей из «Спасских школ» для обучения естественным (физика, химия) и техническим наукам (металлургия, горное дело). Переехав в Германию, Ломоносов поселяется в доме вдовы немецкого пивовара, на дочери которого он впоследствии женился.

За границей Ломоносов обучался пять лет: около 3 лет в Марбургском университете, под руководством знаменитого Христиана Вольфа, и около года во Фрайберге, у Генкеля; около года провёл он в переездах, был в Голландии.

Помимо заявленного обучения, Ломоносов укрепил свои знания немецкого языка, обучался французскому и итальянскому языкам, танцам, рисованию и фехтованию. В период обучения в Марбургском университете Ломоносов начал собирать свою первую библиотеку, потратив на книги значительную часть выдававшихся денег. Весьма внушительен список художественной литературы, вошедшей в это его первое собрание; здесь и античность, и современные авторы: Анакреон, Сафо, Вергилий, Сенека, Овидий, Марциал, Цицерон, Плиний Младший, Помей, Эразм Роттердамский, Фенелон, Свифт, Гюнтер, «Избранные и лучшие письма французских писателей, переведённые на немецкий язык» (Гамбург, 1731), «Вновь расширенное поэтическое руководство, то есть кратко изложенное введение в немецкую поэзию» И. Гюбнера (Лейпциг, 1711) и другие.

1737–1738 годы Ломоносов посвятил занятиям различными науками. Его первая студенческая работа по физике «О превращении твёрдого тела в жидкое, в зависимости от движения предшествующей жидкости».

Весной 1739 года Ломоносов представил ещё одну работу «Физическая диссертация о различии смешанных тел, состоящих в сцеплении корпускул», в которой рассматривались вопросы о строении материи и намечались контуры новой корпускулярной физики и химии.

Изучение естественных наук Ломоносов успешно сочетал с литературными занятиями. В Марбурге он познакомился с новейшей немецкой литературой. Ломоносов занимался с увлечением не только теоретическим изучением западноевропейской литературы, но и практической работой над стихотворными переводами.

Жизнь Ломоносова и его товарищей за границей осложнялась из-за неурядиц с пересылкой денег на их содержание и обучение. Средства от Академии Наук поступали нерегулярно, и студентам приходилось жить в долг.

К началу 1739 года Ломоносов и его товарищи завершили своё обучение в Марбурге. К этому времени от него уже забеременела дочь хозяйки, 19-летняя Елизавета Цильх, с которой он сыграл свадьбу в Марбурге по реформатскому обряду 26 мая 1740 года. Первая их дочь Екатерина родилась до свадьбы и считалась незаконнорожденной. Вскоре из Петербурга пришло предписание готовиться к отъезду во Фрайберг к Генкелю для изучения металлургии и горного дела.

Пять дней потребовалось русским студентам на дорогу до Фрайберга. 14 июля 1739 года они прибыли в этот старейший горнозаводской центр Саксонии.

## *Продолжение приложения*

После относительно независимой и свободной университетской жизни в Марбурге русские студенты попали в полное подчинение к строгому и педантичному Й.Ф. Генкелю. Обучение Генкель начал с занятий минералогией и металлургией. Преподавание строилось в основном на практических занятиях: посещение рудников и металлургических заводов сопровождалось объяснениями производственных процессов. Здесь Ломоносов познакомился с устройством рудников, способами укрепления шахт, подъёмными машинами. Позднее, в своей книге «Первые основания металлургии, или рудных дел», Ломоносов широко использовал знания и опыт, приобретённый во Фрайберге.

Первая серьёзная ссора с наставником разразилась в конце декабря 1739 года. Поводом послужил отказ Ломоносова выполнить черновую работу, которую ему поручил Генкель. Весной, когда Ломоносов и его коллеги после очередного скандала пришли просить денег на своё содержание, Генкель им отказал. Отношения оказались окончательно испорчены. Кроме того, Ломоносов считал, что ему уже нечему учиться во Фрайберге.

В начале мая 1740 года Ломоносов, оставив некоторые свои книги товарищам и захватив с собой небольшие пробирные весы с гирьками, навсегда покинул Фрайберг. Ломоносов рассчитывал с помощью барона Г.К. фон Кейзерлинга, русского посланника, уехать в Россию. Но, прибыв в Лейпциг, где, по его расчётам, должен был находиться посланник, Ломоносов не застал его там. Затем он решил возвращаться в Россию морским путём через Голландию, но, по дороге, напившись в трактире с прусскими солдатами, оказался в немецкой казарме в Везеле, откуда вскоре сбежал. В октябре 1740 года Ломоносов опять в Марбурге, где вновь живёт в доме тёщи. Возвращение Ломоносова в Петербург шло через порт Любек, который он покинул в мае 1741 года.

8 июня 1741 году 30-ти летний Ломоносов вернулся в Петербург, оставив жену в Марбурге. В России он никому не рассказывал о своей женитьбе и почти 2 года не вспоминал о своей жене, пока она не нашла его через российское посольство. Узнав о запросе от жены, Ломоносов не стал отрицать факта свадьбы и способствовал её переезду в Петербург.

10 июня 1741 года Ломоносов был направлен к профессору ботаники и естественной истории И. Амману для изучения естествознания. Ломоносов в качестве адъюнкта под руководством Аммана приступил к составлению Каталога собраний минералов и окаменелостей Минерального кабинета Кунсткамеры. В апреле 1743 года Ломоносов за дерзкое поведение был заключён под стражу на 8 месяцев. Только 12 января 1744 года Сенат, заслушав доклад Следственной комиссии, постановил: «Оного адъюнкта Ломоносова для его довольного обучения от наказания освободить, а во объявленных им продерзости у профессоров просить прощения» и жалованье ему в течение года выдавать «половинное». В это время из Германии приезжает жена Елизавета. Следует отметить, что борьба немецкой и антинемецкой партии в Академии происходила на фоне конца правления Анны Иоановны, которое характеризовалось бироновщиной и «засильем немцев» – доминированием иностранцев в государственном аппарате, науке и образовании.

25 июля 1745 года специальным указом 34-летнему Ломоносову было присвоено звание профессора химии. Его диссертация называлась «О металлическом блеске». По табелю о рангах он становился чиновником VII класса и получал дворянский статус. В том же году он хлопочет о разрешении читать публичные лекции на русском языке; в 1746 году – о наборе студентов из семинарий, об умножении переводных книг, о практическом приложении естественных наук. В то же время Ломоносов усиленно ведёт свои занятия в области минералогии, физики и химии, печатает на латинском языке длинный ряд научных трактатов.

В 1748 году при Академии возникают Исторический Департамент и Историческое Собрание, в заседаниях которого профессор химии Ломоносов начинает вести полемику с Г.Ф. Миллером. Он предъявляет Миллеру обвинения в умышленном принижении русского народа в научных исследованиях. Ломоносов представляет ряд записок и проектов с целью «приведения Академии Наук в доброе состояние», усиленно проводя мысль о «недоброхотстве учёных иноземцев к русскому юношеству», к его обучению.

В 1749 году, в торжественном собрании Академии Наук, Ломоносов произносит «Слово похвальное императрице Елизавете Петровне», имевшее большой успех; с этого времени Ломоносов начинает пользоваться большим вниманием при дворе. Ещё раньше, в 1753 году, Ломоносову, при помощи И.И. Шувалова, удаётся устроить фабрику мозаики. Для этих целей 6 мая 1753 императрица Елизавета жалует Ломоносову мызу Усть-Рудица и четыре окрестных деревни.

В том же году Ломоносов хлопочет об устройстве опытов над электричеством, о пенсии семье профессора Г.В. Рихмана, который погиб в 1753 году во время электрического эксперимента; осо-

## Продолжение приложения

бенно озабочен Ломоносов тем, чтобы «сей случай (смерть Рихмана во время физических опытов) не был протолкован противу приращения наук».

В 1754 г. Ломоносов, недовольный тем, что премия за решение объявленной Академией наук задачи досталась У. Сальхову, в сердцах отказался от кафедры химии. Миллер его слова об отказе заведовать кафедрой химии внёс в протокол, и кафедра была передана Сальхову. Лишённый лаборатории, Ломоносов с этого времени вынужден был заниматься химией у себя дома и в Усть-Рудицах.

Ломоносов сближается с любимцем Елизаветы И.И. Шуваловым, что создаёт ему массу завистников, во главе которых стоит И. Д. Шумахер. Под влиянием Ломоносова совершается в 1755 году открытие Московского университета, для которого он составляет первоначальный проект, основываясь на «учреждениях, узаконениях, обрядах и обыкновениях» иностранных университетов. В 1756 году Ломоносов отстаивает права низшего русского сословия на образование в гимназии и университете.

13 февраля 1757 года 46-летний профессор Ломоносов получает чин коллежского советника. По табели о рангах он становился чиновником VI класса. Новым местом его службы стала канцелярия Академии, он ведал научными и учебными департаментами. Назначенный в 1758 г. главой Географического департамента Академии наук Ломоносов начинает работу по составлению нового «Атласа российского» и добивается рассылки во все губернии географических анкет, сведения из которых могли бы помочь в создании различных карт. В 1759 году он занят устройством гимназии и составлением устава для неё и университета при Академии, причём, опять всеми силами отстаивает права низших сословий на образование, возражая на раздававшийся вокруг него голоса: «куда с учёными людьми?». Учёные люди – доказывает Ломоносов, – нужны «для Сибири, для горных дел, фабрик, сохранения народа, архитектуры, правосудия, исправления нравов, купечества, единства чистые веры, земледельства и предзнания погод, военного дела, хода севером и сообщения с ориентом (востоком)». В то же время идут занятия Ломоносова по Географическому Департаменту; под влиянием его сочинения «О северном ходу в Ост-Индию Сибирским океаном» в 1764 году снаряжается экспедиция в Сибирь. В конце жизни Ломоносов был избран почётным членом Стокгольмской (1760) и Болонской (1764) академий наук.

Ломоносов умирает на 54-м году жизни от простуды. Незадолго до смерти Ломоносова посетила императрица Екатерина II, «чем подать благоволила новое Высочайшее уверение о истинном люблении и попечении своём о науках и художествах в отечестве» («Санкт-Петербургские Ведомости», 1764).

Ломоносов похоронен в Александро-Невской лавре [36].

<sup>5</sup> **Рихман Георг Вильгельм** (нем. Georg Wilhelm Richmann; 11 июля (22 июля) 1711 – 26 июля (6 августа) 1753) – российский физик; действительный член Академии наук и художеств (адъюнкт с 1740, профессор физики с 1741). Основные работы по калориметрии и электричеству. Вывел носящую его имя формулу для определения температуры смеси однородных жидкостей, имеющих разные температуры. Проводил опыты по теплообмену и испарению жидкостей в различных условиях. Предложил первую работающую модель электроскопа со шкалой. Соратник и друг М.В. Ломоносова. Погиб при проведении опытов с атмосферным электричеством.



23 июля 1735 года Рихман представил сочинение по предмету физики, вместе с просьбой о принятии автора под покровительство Академии и 13 октября 1735, распоряжением президента Академии наук и художеств барона Корфа был принят в студенты Академии по классу физики. Рих-

## Продолжение приложения

ман занимался этой наукой под руководством профессора Крафта и помогал ему в его исследованиях и опытах. С 15 апреля 1740 года определён адъюнктом, а с 2 апреля 1741 года назначен вторым профессором теоретической и практической физики Академии наук и художеств. 29 мая 1744 г. Крафт выбыл из Академии и Рихман занял его место.

К физическим опытам Рихмана, и особенно с электричеством – проявляла интерес императрица Елизавета Петровна. В марте 1745 года во дворце была отведена даже особая комната, где Рихман должен был демонстрировать электрические эксперименты. Не раз приходилось Рихману показывать физические опыты и в самой Академии посещавшим ее, членам Святейшего Синода и послам различных европейских государств.

Занятия Рихмана атмосферным электричеством, после получения им сведений об исследованиях Франклина, получили новый импульс. 3 июля 1752 года он представил на Конференции Академии доклад, не появившийся в печати. Его опыты над атмосферным электричеством, сведения о которых он постоянно сообщал в «Петербургских Ведомостях», производились регулярно летом 1752 и 1753 годов.

От установленного на крыше дома, где жил Рихман, железного изолированного шеста, была проведена в одну из комнат квартиры проволока, к концу которой крепились металлическая шкала с квадрантом и шелковая нить, по углу отклонения которой, под воздействием атмосферного электричества Рихман делал измерения. Рихман неумоимо работал со своим прибором, который усовершенствовал, соединив его с лейденской банкой.

6 августа 1753 года во время грозы, когда Рихман стоял на расстоянии около 30 см от прибора, от последнего направился к его лбу бледно-синеватый огненный шар. Раздался удар, подобный пушечному выстрелу, и Рихман упал мёртвый, а находившийся тут же гравёр Соколов был повален на пол и временно оглушён.

В 1753 году российский ученый Георг Рихман, возможно, стал первым лицом, погибшим при проведении электрических экспериментов [37].

<sup>6</sup> **Алессандро Джузеппе Антонио Анастасио Джероламо Умберто Вольта** (итал. Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Gerolamo Umberto Volta; 18 февраля 1745, Комо – 5 марта 1827, там же) – итальянский физик, химик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве; граф (1801).

Вольта впервые поместил пластины из цинка и меди в кислоту, чтобы получить непрерывный электрический ток, создав первый в мире химический источник тока («Вольтов стóлб»).



Именем Вольта названа единица измерения электрического напряжения – Вольт

В 1800 году построил химическую батарею: стало возможным получать электричество с помощью химических реакций [38].

<sup>7</sup> **Петров Василий Владимирович** – русский физик-экспериментатор, электротехник-самоучка, академик Петербургской АН; (08(19).7.1761, г. Обоянь, ныне Курской области, – 22.7(3.8).1834, Петербург).



Василий Петров родился в семье священника. Учился в Харьковском коллегиуме, затем в Санкт-Петербургской учительской семинарии.

В 1788 году Петров был назначен учителем математики и физики в колыванско-воскресенское горное училище в Барнауле. Откуда в 1791 году переведен в Санкт-Петербург на должность преподавателя математики и русского стилия в инженерном училище при Измайловском полку. В 1793 году Василий Петров был приглашен Санкт-Петербургской медицинской коллегией преподавать математику и физику в Санкт-Петербургском медико-хирургическом училище при военно-сухопутном госпитале. В 1795 году, при преобразовании этого училища в медико-хирургическую академию, Петров получил звание экстраординарного профессора. В течение нескольких лет создал богатый для того времени физический кабинет на базе коллекции физических приборов Бутурлина, купленной в Москве.

Первый печатный труд Петрова, «Собрание физико-химических новых опытов и наблюдений», появился в 1801 году. Большая часть работы посвящена описанию опытов с горением – целью было доказать несостоятельность учения о флогистоне. Немалый научный исторический интерес представляют и статьи о свечении фосфоров животного и минерального царства. Петров определяет предельную температуру, при которой фосфор не светится уже в чистом атмосферном воздухе, а разнообразными опытами над плавиковыми шпатами доказал, что причина свечения их иная, нежели у фосфора. Этими опытами он критиковал теорию Макура и Шеле.

За первый ученый труд Петров был удостоен звания ординарного профессора. Открытия Гальвани и Вольта побудили русского ученого провести серию самостоятельных оригинальных опытов, описанных им подробно в книге «Известие о гальвани-вольтовых опытах посредством огромной батареи, состоявшей иногда из 4200 медных и цинковых кружков» (Санкт-Петербург, 1803). Самыми замечательными результатами этих опытов представляются описания электролиза окислов металлов (ртути, свинца, олова), растительных масел, алкоголя и т. п. Электролиз воды от одной медно-цинковой пары, в случае медных электродов; получение электрического света и белого пламени (электрическая дуга) между двумя кусками древесного угля, от которого «темный покой достаточно ярко освещен быть может»; влияние на длину искры упругости окружающего воздуха.

Среди историков науки и техники нет одного мнения о роли Петрова в открытии электрической дуги. Л.Д. Белькинд отмечал, что приоритет открытия феномена вольтовой дуги «...по видимому, принадлежит В. В. Петрову». А.А. Елисеев полагал, что «В.В. Петров явился одним из первых, кому по праву принадлежит честь такого крупнейшего научно-технического открытия, каким явилось открытие вольтовой дуги». Третий исследователь творчества В.В. Петрова — известный историк науки В.Л. Ченакал занимает более однозначную и четкую позицию. Он пишет «можно с уверенностью сказать, что первым, кто наблюдал явление электрической дуги, был Иосиф Меджер». П.П. Лазарев писал, что «Петров задолго до Дэви наблюдал явление вольтовой дуги, и Яблочков приложил это явление к электрическому освещению (свеча Яблочкова)».

Петров отмечает, что длина искры от вольтова столба в безвоздушном пространстве значительно короче, чем при разрядах электрических машин. Он обращает внимание на мгновенное заря-

## Продолжение приложения

жение огромных лейденских батарей посредством небольшого вольтова столба, и на медленное заряджение тех же батарей сильными электрическими машинами. Во время своих опытов Петров исследует влияние изолировки проводников электрического тока и размеров их (сопротивления) на действие вольтова столба.

В 1804 году Петров издал свой третий труд, «Новые электрические опыты», посвященный исследованию электричества от трения. Все указанные работы поставили Петрова в ряд выдающихся русских ученых XIX века. В 1803 году он был избран корреспондентом Академии Наук, а в 1807 году, по предложению академика Крафта, избран членом академии (его преемником в 1834 году был назначен Э. Ленц). Многочисленные физические, химические и метеорологические исследования Петрова опубликованы в изданиях Академии Наук («Memoires de l'Academie», тт. I, II, III, IV, VI, VII, VIII, IX и X; «Умозрительные исследования», тт. I, II, III и V; «Труды Академии», ч. I, II). Под редакцией Петрова в 1807 году издан перевод физики Шрадера («Начальные основания физики для употребления в гимназиях»). Этим учебником пользовались до начала 1830-х годов. По отзывам современников, Петров был прекрасным лектором и одаренным руководителем.

Наряду с преподаванием в медико-хирургической академии Петров много лет читал физику и математику в Академии художеств и во Втором кадетском корпусе. Прослужив в медико-хирургической академии 40 лет, Петров «сверх всякого чаяния» был в феврале 1833 года уволен с пенсией 5000 рублей в год.

После смерти учёного Конференция Академии, памятуя его многолетнюю преподавательскую деятельность и учёные заслуги, выразила желание почтить его память установкой надгробного памятника. Но это решение было забыто. Только в 1892 году, при обустройстве Императорской военно-медицинской академией центрального электромашинного здания для электрического освещения Конференция с Высочайшего соизволения посвятила все сооружение электрического устройства памяти Петрова и установила по этому случаю в машинном зале особую мраморную доску с соответственной надписью [39].

<sup>8</sup> **Гемфри Дэви (Гамфри, или Хамфри Дэви**, англ. Humphry Davy, 17 декабря 1778, Пензанс – 29 мая 1829, Женева) – английский химик и физик. Известен открытием многих химических элементов, а также покровительством Фарадею на начальном этапе его научной деятельности. Член (с 1820 года — президент) Лондонского королевского общества и множества других научных организаций, в том числе иностранный почётный член Петербургской АН (1826 год).

В 1799 году Дэви открыл опьяняющее действие закиси азота, названной веселящим газом. В 1800 году предложил электрохимическую теорию химического сродства, позднее разработанную Й. Берцелиусом. Также в этом году одним из первых провел электрохимическое разложение воды при помощи вольтова столба и подтвердил представление А.Лавуазье, что вода состоит из кислорода и водорода.

В 1807 году получил металлический калий и натрий электролизом их гидроксидов, считавшихся неразложимыми веществами.

В 1808 получил электролитическим путём амальгамы кальция, стронция, бария и магния. Независимо от Ж. Гей-Люссака и Л. Тенара Дэви выделил бор из борной кислоты и в 1810 подтвердил элементарную природу хлора. Дэви предложил водородную теорию кислот, опровергнув взгляд А. Лавуазье, который считал, что каждая кислота должна содержать кислород.

В 1808–09 описал явление так называемой электрической дуги.

В 1815 Дэви сконструировал безопасную рудничную лампу с металлической сеткой.

В 1821 он установил зависимость электрического сопротивления проводника от его длины и сечения и отметил зависимость электропроводности от температуры.

В 1803–13 читал курс сельскохозяйственной химии. Дэви высказал мысль, что минеральные соли необходимы для питания растений, и указал на необходимость полевых опытов для разрешения вопросов земледелия [40].

<sup>9</sup> **Чилдрен Джон Джордж** (англ. John George Children; 1777–1852) – британский химик, минералог и зоолог. Его дочь Анна Аткинс была известным английским ботаником [41].



<sup>10</sup> **Эрстед Ханс Кристиан** (дат. Hans Christian Ørsted, (14.8.1777, Рудкёбинг, о. Лангеланн – 9.3.1851, Копенгаген) – датский учёный, физик, исследователь явлений электромагнетизма [43].



<sup>11</sup> **Араго Доминик Жан Франсуа** (фр. Dominique François Jean Arago; 26 февраля 1786 – 2 октября 1853) – французский физик и астроном; брат Жака Араго и и Этьена Араго.



Открыл поляризацию рассеянного света неба.

Произвёл точные наблюдения над перемещением цветных полос, происходящих от встречи двух лучей, из которых один проходит через тонкую прозрачную пластинку.

Первый заметил, что железные опилки притягиваются проводником электричества в опыте Эрстеда.

Первым пропустил электрический ток по спирали с вложенной в неё стрелкой, которая намагничивалась и разрядилась лейденской банки, и током Вольтова столба.

Находясь в Гринвиче, заметил так называемый магнетизм вращения.

## Продолжение приложения

Наблюдая с Гумбольдтом в 1825 г. силу магнетизма посредством качаний стрелки наклонения, он указал своему сотруднику, что качания стрелки быстро прекращаются, когда возле неё находятся металлические или неметаллические тела. Это наблюдение он применил к объяснению явлений при вращении ледяных или стеклянных кружков над магнитной стрелкой, находящейся в покое. До конца жизни Араго не переставал делать крайне важные и полезные открытия. Так, открыв цветную поляризацию, он изобрёл полярископ, фотометр, цианометр и множество других полезных приборов для изучения оптических явлений. Свои наблюдения над цветной поляризацией он с успехом применил к изучению света, атмосферы и солнца и открыл так называемую «среднюю точку поляризации» (точку, в которой поляризация незаметна). Араго применил интерференцию света к объяснению свечения звёзд; эта теория приведена Гумбольдтом в 4-м томе его «Путешествия в равноденственные страны». Когда в 1835 году Уитстон, исследуя скорость электричества и света, построил остроумный прибор из вращающихся зеркал, Араго быстро сообразил, что подобным устройством можно определить скорость света, и представил в 1838 г план новых опытов. Механик Бреге занялся изготовлением этих приборов, но тут встретилось множество затруднений, и только в 1850 г. ему удалось добиться удовлетворительных результатов, но к этому времени у Араго сильно ослабло зрение, так что он не мог приняться за опыты. На заседании Института 29 апреля 1850 года он откровенно заявил: «я принуждён ограничиться только изложением задачи и указанием на верные способы её решения». Два талантливых физика – Физо и Фуко – не замедлили воспользоваться его ценными указаниями, определили скорость света в атмосфере и в своих докладах Академии наук, первый в 1850 г., второй в 1851 г., дали твёрдые основы теории света, опровергнув существовавшую гипотезу истечения. Многочисленные открытия и работы Араго изложены в его сочинениях, которые разделены Гумбольдтом на 5 частей: астрономические (особенно известна среди них «Общепонятная астрономия», или изложение публичных астрономических лекций Араго с 1812 до 1845 г., переведённая на русский язык), а также труды по оптике, электромагнетизму, метеорологии и физической географии.

В 1806 году Араго точно измерил парижский меридиан, определённый в 1718 году Жаком Кассини. Этот меридиан являлся до 1884 года нулевым меридианом. Он проходит через Парижскую обсерваторию и обозначен с помощью столбиков по всему Парижу, а также с помощью специальных отметок (бронзовых Араго-медальонов в честь знаменитого физика) на мостовых, тротуарах и зданиях, в том числе и на Лувре. Кроме того, Араго опубликовал первую в мировой научной литературе обстоятельную работу о шаровой молнии, обобщив собранные им 30 наблюдений очевидцев, чем положил начало исследованию этого природного явления.

Его имя внесено в список величайших учёных Франции, помещённый на первом этаже Эйфелевой башни [43].

<sup>12</sup> **Ампёр Андре-Мари́** (фр. André-Marie Ampère; 20 января 1775[1] – 10 июня 1836) – знаменитый французский физик, математик и естествоиспытатель, член Парижской Академии наук (1814). Член многих академий наук, в частности иностранный почётный член Петербургской Академии наук (1830). Джеймс Максвелл назвал Ампера «Ньютоном электричества».



Математика, механика и физика обязаны Амперу важными исследованиями. Его основные физические работы выполнены в области электродинамики. В 1820 он установил правило для определения направления действия магнитного поля на магнитную стрелку, известное ныне как правило

## Продолжение приложения

Ампера; провёл множество опытов по исследованию взаимодействия между магнитом и электрическим током; для этих целей создал ряд приборов; обнаружил, что магнитное поле Земли влияет на движущиеся проводники с током. В том же году открыл взаимодействие между электрическими токами, сформулировал закон этого явления (закон Ампера), развил теорию магнетизма, предложил использовать электромагнитные процессы для передачи сигналов.

Согласно теории Ампера, магнитные взаимодействия являются результатом происходящих в телах взаимодействий так называемых круговых молекулярных токов, эквивалентных маленьким плоским магнитам, или магнитным листкам. Это утверждение носит название теоремы Ампера. Таким образом, большой магнит, по представлениям Ампера, состоит из множества таких элементарных магнетиков. В этом заключается суть глубокого убеждения ученого в чисто токовом происхождении магнетизма и тесной связи его с электрическими процессами.

В 1822 Ампером был открыт магнитный эффект соленоида (катушки с током), откуда следовала идея эквивалентности соленоида постоянному магниту. Также им было предложено усиливать магнитное поле с помощью железного сердечника, помещаемого внутрь соленоида. Идеи Ампера были изложены им в работах «Свод электродинамических наблюдений» (фр. «Recueil d'observations electrodynamiques», Париж, 1822), «Краткий курс теории электродинамических явлений» (фр. «Precis de la theorie des phenomenes electrodynamiques», Париж, 1824), «Теория электродинамических явлений» (фр. «Theorie des phenomenes electrodynamiques»). В 1826 году им была доказана теорема о циркуляции магнитного поля. В 1829 Ампер изобрел такие устройства как коммутатор и электромагнитный телеграф.

В механике ему принадлежит формулировка термина «кинематика».

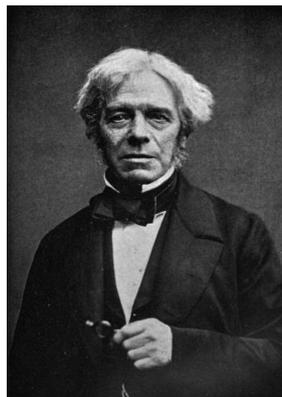
В 1830 году ввел в научный оборот термин «кибернетика».

Разносторонний талант Ампера оставил след и в истории развития химии, которая отводит ему одну из почетных страниц и считает его, совместно с Авогадро, автором важнейшего закона современной химии.

В честь учёного единица силы электрического тока названа «ампером», а соответствующие измерительные приборы – «амперметрами».

Некоторые исследования Ампера относятся к ботанике, а также к философии, в частности «Наброски по философии науки» [44].

<sup>13</sup> **Фарадэй Майкл** (англ. Michael Faraday, 22 сентября 1791, Лондон – 25 августа 1867, Лондон) – английский физик-экспериментатор и химик. Член Лондонского королевского общества (1824) и множества других научных организаций, в том числе иностранный почётный член Петербургской академии наук (1830).



Открыл электромагнитную индукцию, лежащую в основе современного промышленного производства электричества и многих его применений. Создал первую модель электродвигателя. Среди других его открытий – первый трансформатор, химическое действие тока, законы электролиза, действие магнитного поля на свет, диамагнетизм. Первым предсказал электромагнитные волны. Фарадэй ввёл в научный обиход термины ион, катод, анод, электролит, диэлектрик, диамагнетизм, парамагнетизм и др.

## *Продолжение приложения*

Фарадей – основоположник учения об электромагнитном поле, которое затем математически оформил и развил Максвелл. Основной идейный вклад Фарадея в физику электромагнитных явлений заключался в отказе от ньютонова принципа дальнего действия и во введении понятия физического поля — непрерывной области пространства, сплошь заполненной силовыми линиями и взаимодействующей с веществом [45].

<sup>14</sup> **Максвелл Джеймс Клерк** (англ. James Clerk Maxwell; 13 июня 1831, Эдинбург, Шотландия – 5 ноября 1879, Кембридж, Англия) – британский физик, математик и механик. Шотландец по происхождению. Член Лондонского королевского общества (1861). Максвелл заложил основы современной классической электродинамики (уравнения Максвелла), ввёл в физику понятия тока смещения и электромагнитного поля, получил ряд следствий из своей теории (предсказание электромагнитных волн, электромагнитная природа света, давление света и другие). Один из основателей кинетической теории газов (установил распределение молекул газа по скоростям). Одним из первых ввёл в физику статистические представления, показал статистическую природу второго начала термодинамики («демон Максвелла»), получил ряд важных результатов в молекулярной физике и термодинамике (термодинамические соотношения Максвелла, правило Максвелла для фазового перехода жидкость – газ и другие). Пионер количественной теории цветов; автор принципа цветной фотографии. Среди других работ Максвелла — исследования по механике (фотоупругость, теорема Максвелла в теории упругости, работы в области теории устойчивости движения, анализ устойчивости колец Сатурна), оптике, математике. Он подготовил к публикации рукописи работ Генри Кавендиша, много внимания уделял популяризации науки, сконструировал ряд научных приборов [46].



<sup>15</sup> **Якоби Борис Семёнович** (Мориц Герман фон) (нем. Moritz Hermann von Jacobi; 21 сентября 1801, Потсдам – 27 февраля (11 марта) 1874, Санкт-Петербург) – немецкий и русский физик, академик Императорской Санкт-Петербургской Академии Наук. Родной старший брат выдающегося немецкого математика Карла Якоби (старше на 3 года) [47].



<sup>16</sup> **Ленц Эмилий Христианович** (при рождении Генрих Фридрих Эмиль Ленц, нем. Heinrich Friedrich Emil Lenz; 12 (24) февраля 1804, Дрепт – 29 января (10 февраля) 1865, Рим)



От 1823 до 1826 г. принимал участие в качестве физика в кругосветном путешествии Коцебу. Результаты научных исследований этой экспедиции напечатаны им в «Мемуарах Санкт-Петербургской академии наук» (1831). В 1829 принимал участие в первой экспедиции на Эльбрус под руководством генерала Эммануэля. В 1828 г. выбран адъюнктом академии, а в 1834 г. академиком. Вместе с тем он состоял профессором, а в последние годы и ректором СПб университета. Преподавал также в знаменитой Немецкой школе Святого Петра (1830–1831), в Главном педагогическом институте и в Михайловском артиллерийском училище. Лекции его по физике и физической географии отличались замечательной ясностью и строгой систематичностью. Такими же качествами обладали и его известные руководства физики (для гимназии) и физической географии; оба учебника выдержали несколько изданий, но первый из них был особенно распространен. Настолько же блестяща и плодотворна была и научная деятельность академика Ленца.

В истории физики научным трудам его всегда будет отводиться почетное место. Многие его научные исследования относятся к физической географии (о температуре и солёности моря, об изменчивости уровня Каспийского моря, о барометрическом измерении высот, об измерении магнитного наклона и напряжённости земного магнетизма и др.). Но главным образом он работал в области электромагнетизма. Выяснению важного значения этих работ посвящены, между прочим, сочинения А. Савельева: «О трудах академика Ленца в магнитоэлектричестве» (СПб., 1854) и В. Лебединского: «Ленц как один из основателей науки об электромагнетизме» (журн. «Электричество» 1895). Главнейшие результаты его исследований излагаются и во всех учебниках физики. Именно:

Закон индукции («Правило Ленца»), по которому направление индукционного тока всегда таково, что он препятствует тому действию (напр. движению), которым он вызывается (1834 г.).

«Закон Джоуля–Ленца»: количество теплоты, выделяемое током в проводнике, пропорционально квадрату силы тока и сопротивлению проводника (1842).

Опыты, подтверждающие «явление Пельтье»; если пропускать гальванический ток через висмутовый и сурьмяной стержни, спаянные концами и охлажденные до 0 °С, то можно заморозить воду, налитую в ямку около спая (1838).

Опыты над поляризацией электродов (1847) и т. д.

Некоторые свои исследования Ленц производил вместе с Парротом (о сжатии тел), Савельевым (о гальванической поляризации) и академиком Борисом Якоби (об электромагнитах). Список его мемуаров, которые печатались в «Записках Императорской Академии Наук» и в журнале «Poggendorfs Annalen», помещён в «Biographisch-literarisches Handwörterbuch von Poggendorf» (1424). Сын Ленц, Роберт Эмильевич [48].

<sup>17</sup> **Лачинов Дмитрий Александрович** (10 мая 1842, Новая Островка («Самодуровка тож»), Тамбовской губернии – 15 октября 1902, Санкт-Петербург) – русский физик, электротехник, метеоролог и климатолог, изобретатель, педагог и популяризатор науки. Первым сформулировал условия передачи электроэнергии на большие расстояния (опубликовано в начале 1880 года в первом номере журнала «Электричество»), издал первый в России учебник (курс) «Метеорологии и климатологии»

*Продолжение приложения*

(1889); именем учёного названы многие электротехнические приборы. Основатель кафедры физики Лесотехнической академии (1864) [49].



<sup>18</sup> **Яблочков Пáвел Никола́евич** (14 [26] сентября 1847, Сердобский уезд Саратовской губернии – 19 [31] марта 1894, Саратов) – русский электротехник, военный инженер, изобретатель и предприниматель. Известен разработкой дуговой лампы (вошедшей в историю под названием «свеча Яблочкова») и другими изобретениями в области электротехники [50].



<sup>19</sup> **Чиколев Владимир Николаевич** (4 августа 1845 – 5 марта 1898) – русский электротехник.



В 1869 г. работал над применением дифференциального принципа к электрическим дуговым лампам, в 1874 г. создал первую дифференциальную лампу. В 1880-х годах Чиколев принимал дея-

## Продолжение приложения

тельное участие в трудах технического общества и явился организатором первой электрической выставки, в С.-Петербурге в 1881 г., и редактором 1-го русского электрического журнала «Электричество».

С 1876 г. В.Н. Чиколев служил делопроизводителем артиллерийского комитета по электротехническому отделу. Его стараниями открыта в артиллерийском ведомстве электрическая лаборатория и электричество стало применяться ко многим военным целям, например к стрельбе и проч. В 1892 г. В.Н. Чиколев изобрел способ проверки рефлекторов фотографированием и изложил теорию электрических прожекторов. В этой области исследований В.Н. Чиколев был сторонником метода центростремительной отливки параболических рефлекторов, предложенного Д.А. Лачиновым, с которым учёный на протяжении многих лет был в дружеских отношениях и регулярно сотрудничал [51].

<sup>20</sup> **Бенардос Николай Николаевич** (26 июля [7 августа] 1842[1], Бенардосовка – (8 [21] сентября 1905, Фастов) – русский инженер, изобретатель электрической дуговой сварки (1881).



Николай родился в селе Бенардосовке Елисаветградского уезда Херсонской губернии (ныне село Мостовое Братского района Николаевской области Украины) в семье с богатыми военными традициями. Его дед, грек по происхождению, один из героев Отечественной войны 1812 года генерал-майор Пантелеймон Егорович Бенардос. Отец – участник Крымской войны 1853–1856 годов, полковник в отставке Николай Пантелеймонович Бенардос был женат на дочери лухского помещика Екатерине Васильевне Свешниковой. По материнской линии изобретатель был потомком Демидовых – дед его, Василий Львович Свешников, был женат на Елизавете Львовне Демидовой. Детство Николая прошло в имении родителей Новоукраинка Херсонской губернии. Начальное образование он получил домашнее. Ещё в детстве будущий изобретатель проявлял большое влечение к всевозможным ремёслам. Его любимыми занятиями были слесарное и кузнечное дело. Николай целые дни проводил в небольших мастерских отца, обслуживающих нужды усадьбы, где овладел навыками работы кузнеца.

В 1862 году, по настоянию отца, Николай поступил на медицинский факультет Киевского университета святого Владимира. Во время обучения на врача Бенардос сделал первое своё известное изобретение – зубную пломбу, которую он изготовил из серебра. Первым пациентом молодого изобретателя был его денщик (его имя не сохранилось), которого Бенардос избавил от зубной боли с помощью серебряной «пуговки», как он её назвал.

В 1866 году Николай оставил медицину и перевёлся в Петровскую земледельческую и лесную академию в Москве по отделу сельскохозяйственных наук. Прочувшись в академии около трёх лет, до 1869, он ушёл оттуда, целиком посвятив себя изобретательской деятельности. В период обучения в академии Н.Н. Бенардос разработал и опробовал целый ряд изобретений в области усовершенствования различных сельскохозяйственных орудий, так, например, в 1866 году он создал проект плуга с вращающимся отвалом с целью уменьшения до минимума трения между частями плуга и земельным пластом, однако этот проект так и остался на бумаге.

Весной 1867 года в Париже открылась Всемирная выставка, которую Николай Бенардос решил посетить, в надежде на реализацию своих планов в области изобретательства. Будучи студентом первого курса, он получил в академии отпуск и уехал. К сожалению, период заграничных путешествий Бенардоса почти не исследован, точных сведений о его пребывании в Париже, а также о последую-

## *Продолжение приложения*

щих поездках в Испанию, Великобританию и Германию, не сохранилось. В Москву Н. Бенардос вернулся осенью 1867 года.

В конце декабря 1867 года, для решения ряда хозяйственных вопросов, Николай побывал в родовом поместье матери, которое находилось в городке Лух Юрьевецкого уезда Костромской губернии. С тех пор он неоднократно приезжал в этот заштатный городок. В одно из таких посещений Бенардос познакомился с Анной Алексеевной Лебедевой – дочерью хозяина лухского постоянного двора и в 1868 году женился на ней. Николай Николаевич решил осесть в этих краях. В двенадцати верстах от села, на перешедшем к нему от матери лесном участке, он выстроил помещичью усадьбу «Привольное». При усадьбе были двухэтажный дом, построенный в турецко-японском стиле с фонтаном, пагодами и даже пятиэтажной пирамидой, большой фруктовый сад и оранжерея, а также хорошо оборудованные слесарные, механические, деревообделочные мастерские и кузница. Поначалу Бенардос собирался заняться хозяйственной деятельностью по всем предписаниям усвоенной в академии агрономической науки. Однако, имея большую тягу к изобретательству, каждую свободную минуту проводил в механической мастерской. Он сконструировал, а затем соорудил собственными руками несколько оригинальных сельскохозяйственных орудий. Потом поставил изобретательство на поток.

Практически все свои средства Бенардос пускал либо на техническое обеспечение своих исследований, либо на устройство жизни окрестных крестьян. Он оказывал широкую медицинскую помощь жителям соседних деревень, организовал аптеку и выдавал из неё бесплатно лекарства. Николай Николаевич построил в усадьбе самолично изобретённую механическую прачечную, предтечу стиральной машины, библиотеку и школу, в которой бесплатно обучались крестьянские дети. Это была первая и единственная в тех местах школа. Всё необходимое для учебного процесса он также покупал на свои средства.

Бенардос активно участвовал в общественной деятельности. В 1870–1873 годах он избирался в Юрьевецкое уездное и Костромское губернское земские собрания. Его выступления на земских собраниях содержали конкретные предложения по развитию системы здравоохранения и усилению санитарного контроля. По заявлению Николая Николаевича, в то время члена уездного училищного Совета, IX очередное уездное земское собрание постановило ходатайствовать перед правительством о введении обязательного обучения.

В 1873 году Н. Бенардос вместе с братьями Павлом и Николаем Телепневыми участвовал в наказании розгами земского врача Алферьева, нанёсшего оскорбление некой княжне Берсеневой. После судебного разбирательства, которое длилось больше года, Костромской окружной суд, за якобы имевшее место оскорбление земского врача, приговорил Бенардоса и братьев Телепневых к лишению прав и ссылке на жительство в Сибирь. Позднее эта мера была заменена трёхмесячным арестом на гауптвахте и лишением прав занимать какие-либо государственные или общественные посты. Всё время до решения суда Бенардос провёл в заключении. Его близкий друг Андрей Иванович Бюксенмейстер позднее вспоминал, что судебное дело тянулось долгое время, потребовало много средств и очень сильно подорвало моральное и материальное состояние Бенардоса.

После освобождения из заключения Бенардос взялся за осуществление идеи, возникшей у него ещё в 1873 году – постройку колёсного парохода с поворотными лопастями, способного преодолевать речные перекаты, мели, обходить мельничные плотины и подобные препятствия по суше. Над этим проектом изобретатель работал более трёх лет. Помогали ему местные кузнецы В. Тюгин и Н. Смирнов. Весной 1877 года пароход, названный в честь старшего сына Бенардоса – «Николай», был спущен на воду у Болдыревой пустыни, в 3 км от городка Лух. Для испытания своей модели изобретатель предпринял трёхсоткилометровое путешествие по рекам Луху и Клязьме вплоть до Гороховца. Затем судно было доставлено в Санкт-Петербург. Однако новый вид транспорта остался без внимания чиновников и промышленников. В дальнейшем пароход был продан на слом и разобран на дрова.

В феврале 1877 года Бенардос сконструировал специальный снаряд для перевозки дров и других тяжестей. На это изобретение ему был выдан патент, прислана благодарность из Сельскохозяйственного музея Санкт-Петербурга, но, хотя ряд землевладельцев завёл подобные снаряды в своих хозяйствах, в промышленное производство он внедрён так и не был.

В последующие годы Николай Николаевич всё больше занимается работами в области электротехники. Ещё при постройке парохода Бенардосу часто приходилось соединять крупные металлические детали. Делалось это кузнечной сваркой, однако в мастерских Бенардоса не было больших

нагревательных печей. Поэтому изобретатель попробовал греть кромки вольтовой дугой, до их проковки, при этом металл часто оплавлялся и соединял небольшие участки.

В середине 1870-х годов Бенардос познакомился с инженером и изобретателем А.И. Бюксенмейстером, основавшим в 1878 году неподалеку от Кинешмы завод по производству аккумуляторов, угольных изделий и электродуговых ламп (ныне завод «Электроконтакт»). Дружба с Бюксенмейстером безусловно способствовала изобретательской деятельности Николая Николаевича. Владелец завода снабжал его электрохимическими источниками тока, электроуглями и другими необходимыми материалами. Бенардос получил широкую возможность экспериментировать с электрической дугой, работать в области изыскания конкретных направлений практического использования электричества. Вместе с Бюксенмейстером он провёл ряд экспериментов с аккумуляторными батареями.

Для того, чтобы получить деньги, необходимые для продолжения научных и инженерных изысканий, Николай Бенардос был вынужден продать значительную часть своей земли и заложить усадьбу. В конце-концов он оставляет имение на управляющего и уезжает в Санкт-Петербург.

Переехав в 1879 году в Санкт-Петербург, Бенардос 10 февраля 1880 года подал прошение в Министерство внутренних дел с просьбой вернуть ему права государственной и общественной службы. Получив отказ, он поступает на работу на завод электротехнического отдела при товариществе «Яблочков-изобретатель и К°». С П. Н. Яблочковым Николай Николаевич познакомился ещё в 1876 году, в одну из поездок за границу. Между ними возникли творческие связи, перешедшие в большую дружбу. Через Яблочкова Бенардос познакомился с виднейшими зарубежными и русскими электротехниками того времени. Непосредственное общение с ними оказалось весьма полезным для развития научно-технической деятельности Бенардоса и способствовало ускорению реализации многих его изобретений. Бенардос принимал непосредственное участие в распространении в России электрического способа освещения. С этой целью он по поручению завода совершил поездку в Закаспийскую область. Руководство завода предоставило изобретателю полную возможность проведения необходимых опытов. За время работы на заводе Бенардос изобрёл специальный подсвечник для свечи Яблочкова с автоматическим переключением тока, машину для изолировки кабеля, машину для оплётки проводов и т. д.

Весной 1881 года Николай Николаевич Бенардос в качестве сотрудника фирмы «Яблочков-изобретатель и К°» отправился на Международную электрическую выставку, проходившую в Париже. Подготовка экспозиции выставки проходила в экспериментальной лаборатории при журнале «Электрисьен», содиректором которой был русский физик Николай Иванович Кабат. Здесь Бенардос начал работу над улучшением аккумуляторов, предназначенных для электрического освещения, в результате которой пришёл к своему основному изобретению, принесшему ему мировую известность — электросварке, названной им «Электрогефест». Это изобретение получило золотую медаль и стало главным экспонатом Парижской международной электротехнической выставки.

По возвращении в Санкт-Петербург, Бенардос продолжил совершенствовать изобретённый им способ дуговой электросварки. В 1885 году после тщательнейшей разработки и доведения своего способа до возможности промышленного применения Николай Николаевич обратился в Департамент торговли и мануфактур с просьбой о выдаче ему привилегии на «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока». 31 декабря 1886 года ему была выдана десятилетняя привилегия за № 11982. Метод, созданный Бенардосом, был весьма прост. В описании к привилегии сущность его излагалась так: Предмет изобретения составляет способ соединения и разъединения металлов действием электрического тока... основанный на непосредственном образовании вольтовой дуги между местом обработки металла, составляющим один электрод, и подводимой к этому месту рукояткою, содержащею другой электрод, и соединенной с соответственным полюсом электрического тока. С помощью этого способа могут быть выполнены следующие работы: соединение частей между собой, разъединение или разрезывание металлов на части, сверление и производство отверстий и полостей и наплавление слоями.

Бенардос не смог сразу в 1881 году запатентовать своего «Электрогефеста». Одной из причин стало отсутствие средств. Лишь в 1884 году, когда усадьба «Привольное» была продана за неуплату долгов ссудным банком, Бенардос смог на оставшиеся деньги подать заявку на получение патента на способ дуговой электросварки. В 1885–1887 годах Н. Н. Бенардос получил патенты Франции, Бельгии, Великобритании, Австро-Венгрии, Швеции, Италии, Германии, США, Норвегии, Дании, Испании, Швейцарии. Так как у Бенардоса хватило денег только на патентование изобретения в России, патентование за рубежом финансировал купец С. А. Ольшевский, владелец доходных домов в Петербурге и Варшаве, ставший совладельцем патентов.

## *Продолжение приложения*

В 1885 году в Санкт-Петербурге Николай Бенардос совместно с рядом капиталовладельцев основал Товарищество «Электрогефест», имевшее первую в мире показательную мастерскую сварочных работ. Менее чем через два года способ дуговой электросварки получил распространение по всему миру, а имя Бенардоса стало широко известным в научных и технических кругах за границей. Для ознакомления с «Электрогефестом», с целью его применения в своих странах, в Россию приезжали крупные зарубежные специалисты. Всестороннее освещение нового процесса сварки металлов в технической литературе и в специальных докладах видных учёных и инженеров, также весьма способствовало росту популярности изобретения Бенардоса. К середине 1890-х годов новый технологический процесс был внедрён более чем на 100 заводах Западной Европы и в США, электросварку начали применять не только для вспомогательных ремонтных работ, но и как основной технологический процесс производства новых металлических изделий.

В России дуговую электросварку впервые применили на Куваевской мануфактуре и заводе Пономарёва в Иваново-Вознесенске. В 1888 году способ Николая Бенардоса был использован в Рославльских мастерских Орловско-Витебской железной дороги для ремонта паровозных и вагонных колёс, рам, решёток и так далее. В течение пяти лет способ Бенардоса распространился по всей России. Он применялся в железнодорожных мастерских Воронежа и Ростова-на-Дону, на заводах Коломенском в Голутвине, Гужона в Москве, Невском машиностроительном заводе, заводе Лесснера в Петербурге и др.

К 1892 году Н. Н. Бенардос разработал электрическую сварку как с угольным, так и с металлическим электродами. Ему принадлежит идея и разработка устройства для сварки металлическим электродом на переменном токе, разработка сварки в струе газа, сварки наклонным электродом. Он первым начал применять различные флюсы и закрытую дугу, а также был основоположником механизации и автоматизации сварочного процесса.

На проходившей в январе 1892 года в Санкт-Петербурге IV Всероссийской электрической выставке, демонстрировалось более 30 различных изобретений Бенардоса, оформленных в отдельную экспозицию. 11 мая того же года «За удачное применение вольтовой дуги к спаиванию металлов и направлению одного металла на другой» Николай Николаевич Бенардос был удостоен высшей награды Русского Технического общества – золотой медали. А в мае 1893 года он был избран действительным членом этого общества.

В 1889 году патентным правом на изобретения Бенардоса в области сварки завладела группа дельцов, практически лишив его возможности продолжать работу над «Электрогефестом». Однако он продолжал заниматься изобретательством в других областях. С 1887 по 1891 год им были получены патенты на усовершенствованную систему аккумуляторов, способ приготовления губчатого свинца, гальванизации больших площадей, тигельное электропаяние.

17 (29) октября 1888 года на станции Борки, Курско-Харьковского направления Императорской железной дороги, произошло крушение императорского поезда, в котором находился Александр III со своей семьёй. Никто из Августейшего семейства серьёзно не пострадал. В связи с этим событием Николай Бенардос предложил проект исправления Царь-колокола, перенесения его на Воробьёвы горы и строительство для него огромной Царь-колокольни, в которой на одном этаже был храм, а на другом музей, посвящённый чудесному спасению Царской Семьи. В начале 1890-х гг. этот проект широко обсуждался в московской и петербургской прессе, однако он так и остался невоплощённым.

В конце 1890-х годов сильно ухудшилось состояние здоровья Николая Бенардоса. Продолжительные опыты с губчатым свинцом, необходимым для изготовления аккумуляторов, привели к тяжёлому отравлению организма изобретателя. В 1899 году по рекомендации врачей он переехал в Фастов.

7 декабря того же года Санкт-Петербургским электротехническим институтом Н.Н. Бенардосу, вместе с А.С. Поповым и А.Н. Лодыгиным, за особо выдающиеся заслуги было присвоено звание почётного инженера-электрика. Запись в журнале заседаний института гласит: А.С. Попов, Н.Н. Бенардос, А.Н. Лодыгин заслуживают возведения в почётное звание инженера-электрика, как выдающиеся русские изобретатели в области электротехники, первый по телеграфированию без проводов, второй по электрической сварке металлов, третий по устройству лампы накаливания.

Несмотря на болезнь, Бенардос не прекращал работы. В 1900 году он разработал способ изготовления стальных борон путём штамповки из листа. В начале 1902 года, находясь на излечении в Москве, Н.Н. Бенардос участвовал в работе Второго Всероссийского электротехнического съезда, который избрал его своим почётным председателем. Это было последним прижизненным признани-

ем заслуг изобретателя. 8 (21) сентября 1905 года Николай Николаевич Бенардос скончался в фатовской богадельне. [52]

<sup>21</sup> **Славянов Николай Гаврилович** (23 апреля (5 мая) 1854 – 5 (17) октября 1897) – русский инженер, изобретатель электрической дуговой сварки металлов.



Славянов Николай Гаврилович родился 5 мая 1854 года в семье Гавриила Николаевича и Софьи Алексеевны Славяновых.

В старинном дворянском роду Славяновых военная профессия считалась наследственной. Николай Егорович, дед изобретателя, пятнадцатилетним юношей поступил на военную службу. В том же возрасте начал служить и отец изобретателя – Гавриил Николаевич. Он женился на дочери курского помещика Софье Алексеевне Шаховской.

Первоначальное образование Николай получил дома, а восьми лет был отдан в Воронежский кадетский корпус. Родители решили готовить сына к военной службе. Хотя мальчик учился в кадетском корпусе хорошо, быть военным он не собирался. Потому на предпоследнем курсе подал прошение об увольнении и поступил в Воронежскую мужскую гимназию.

К тому времени обедневшая дворянская семья еле сводила концы с концами. А когда в 1868 г. в возрасте 43 лет умер Гавриил Николаевич, семья оказалась в бедственном положении, и пришлось продать имение.

В 1872 году золотой медалист Николай Славянов успешно выдержал конкурсные испытания в Петербургском горном институте и был зачислен студентом. Физике его учил известный профессор К.Д. Краевич, а металлургию преподавал профессор Н.А.Кулибин, внук знаменитого русского изобретателя. На последнем курсе Николай спроектировал паровую машину с особым парораспределительным механизмом, за что получил почетный отзыв совета института.

Мать, обремененная семьей, конечно, не могла помогать старшему сыну. Приходилось давать частные уроки по математике, черчению, музыке и даже перекладывать печи. Так студент Николай Славянов попал в дом полковника В.В. Ольдерогге, где требовался специалист по ремонту каминов. Здесь он и познакомился с дочерью полковника Варварой. Ремонт каминов «затянулся» до конца декабря, а любовь к Варваре Ольдерогге – до конца жизни.

Как одному из лучших выпускников института Славянову присвоили звание горного инженера первого разряда и направили на Боткинский горный завод. Поэтому Николай поспешил сделать любимой предложение, которое Варвара благосклонно приняла. И сразу после свадьбы молодожены выехали на завод.

Работа отнимала много сил и времени, но Славянов трудился с большим увлечением. Под его наблюдением находилось все оборудование завода. Приходилось вникать во все мелочи ремонта машин и механизмов. А спустя несколько лет талантливого инженера назначили «на службу в распоряжение главного начальника Уральских заводов для определения на должность управителя механических фабрик Пермских заводов».

К началу 80-х гг. Мотовилихинский казенный завод стал одним из крупнейших предприятий царской России. Здесь трудилось свыше 4 тыс. человек. Кроме производства стальных пушек завод строил пароходы, паровые машины, паровые котлы и многие другие машины и механизмы. Первое

## *Продолжение приложения*

время Славянов был управителем орудийных и механических цехов. Но в июле 1891 г. стал горным начальником, управляющим заводом. В этой должности и проработал до конца жизни.

Мартеновское производство оказалось новым делом, и Славянов приглашает на Мотовилихинский завод А.А. Износкова – строителя первых мартенов в России. Вместе они начинают опытные работы по изготовлению артиллерийских снарядов более высокой прочности, которые смогли бы поразить мощные броненосцы. Военные стрельбы на полигоне превзошли все ожидания: сферические снаряды из литой некованой стали пробивали шестидюймовую броню не хуже снарядов крупновского производства.

В 1885 году Славянов отправился в четырехмесячную заграничную командировку, побывал на Всемирной выставке в Антверпене и электротехнической в Кенигсберге, ознакомился с производством на заводах общества Кокериль и Круппа. На бельгийских заводах, чтобы лучше узнать производство, даже поработал простым рабочим.

Результаты не замедлили сказаться. Вскоре на заводе началось строительство первой электростанции для освещения завода. Две динамо-машины постоянного тока для нее были сделаны по чертежам и расчетам Славянова. Первый ток они дали в 1887 году и в действие приводились паровыми машинами. На распределительных щитах электростанции Славянов впервые применил шинную проводку, изобрел регуляторы для дуговых ламп. Всего на территории предприятия и в цехах горело 2,5 тыс. дуговых фонарей.

Славяновские динамо-машина, дуговые лампы, различные электроизмерительные приборы экспонировались на Урало-Сибирской научно-промышленной выставке в Екатеринбурге. Экспертная комиссия наградила инженера большой серебряной медалью «За достоинства предметов, представленных на выставке».

Первая электростанция стала технической базой двух основных изобретений Николая Гавриловича – дуговой электрической сварки и электрического уплотнения металлических отливок.

Как известно, в основу электрической сварки металлов положено явление электрического разряда в виде электрической дуги, открытой академиком В.В. Петровым. А первым в мире электротехником, успешно применившим электрическую дугу для сваривания и разъединения металлов, был Н.Н. Бенардос. Но Бенардос применял угольный электрод, источником тока была огромная аккумуляторная батарея. Славянов же пошел дальше.

При отливке в стальных болванках нередко появлялись усадочные раковины и пустоты, чаще всего в верхней трети слитка, где металл дольше оставался жидким. На помощь металлургам пришло электрическое уплотнение металлических отливок. Славянов сделал вывод, что если верхнюю часть слитка поддерживать в расплавленном состоянии, то металл непременно будет застыть снизу вверх. Благодаря этому газы свободно покинут жидкий металл, и усадочные пустоты не возникнут. Чтобы поддерживать верхнюю часть слитка в расплавленном состоянии, Славянов использовал электрическую дугу. Электродами служили поверхность слитка и угольный стержень. Новый способ борьбы с раковинами и пустотами в металлических отливках быстро вошел в практику Мотовилихинского завода, вскоре его переняли и другие предприятия.

Заявку на изобретение Славянов подал 8 августа 1890 г. и вскоре получил привилегию на «Способ электрического уплотнения металлических отливок». В том же году он запатентовал и способ электрической сварки.

Первые работы по электрической сварке на заводе начались в 1888 г. Славянов испытывал свой способ сварки на разных металлах и сплавах, брал такие детали, которые легко проверить в работе после ремонта, например ступенчатые шкивы от токарных станков, зубчатого колеса, маховики от сверлильных станков. Эти детали считались совершенно вышедшими из строя и предназначались на переплавку.

Николай Гаврилович сразу же отказался от огромной аккумуляторной батареи Бенардоса и электрический ток для сварки стал брать от динамо-машины. Отказался он и от угольного электрода. Один полюс динамо-машины соединил с обрабатываемой деталью, а другой – с металлическим стержнем, который вставлялся в специальный сварочный аппарат, так называемый плавильник. Электрическая дуга, которая при пропускании тока возникала между металлическим стержнем и обрабатываемой деталью, плавил металл стержня и детали. Когда действие дуги прекращалось, металл застывал, и получалось прочное соединение.

Для удобства плавильник подвешивали на специальном приспособлении. Можно было работать одним плавильником, но можно было вести сварку и двумя последовательно соединенными. Для часто повторяющихся работ Славянов сконструировал специальный станок, например для изго-

## *Продолжение приложения*

товления паропроводных труб из красной меди. Из листовой меди загибалась труба, заформовывалась, клалась на ролики и нагревалась. Плавильник подвешивался неподвижно, а труба передвигалась вдоль своей оси при помощи рейки на станке.

Опыты оказались столь удачными, что спустя год цех электросварки переименовали в электротейную фабрику, куда узкоколейкой доставлялись большие детали. Новым способом Славянов отливал небольшие детали, сваривал в одно целое два или несколько металлических предметов, исправлял негодные или неудачные отливки, поковки, заливал раковины в чугунном и бронзовом литье и в готовых деталях, заливал волосины, песочины в стальных изделиях, приливал к готовым частям небольшие недостающие части.

Летом 1891 г. в Мотовилиху приехала специальная комиссия, которая ознакомилась с электрической сваркой по способу Славянова. В своем заключении она написала: «Способ электрической отливки Славянова не имеет ничего общего с известным способом электрической пайки Бенардоса, которым работает компания «Электрогефест». Нам остается только пожелать возможно более широкого распространения этого способа».

Высокую оценку изобретению Славянова в 1892 г. дала Четвертая электрическая выставка в Петербурге, наградившая изобретателя золотой медалью. В 1893 г. на Всемирной электротехнической выставке в Чикаго изобретателю «за дуговую электрическую сварку» была присуждена золотая медаль. Там экспонировался знаменитый славяновский стакан: обработанный в виде двенадцатигранной призмы с круглыми основаниями сплавленный из разных металлов брусок, высверленный внутри. Американцы-то полагали, что электрическая сварка непригодна для цветных металлов, шов получится очень непрочный. А спаивать цветные металлы с черными вообще нельзя. Вот Славянов и наварил своим способом разные металлы один на другой, чтобы посрамить неверящих.

Только за три года на Мотовилихинском заводе по способу Славянова отремонтировали более 1850 самых разнообразных по весу (от 3 фунтов до 800 пудов) и по назначению деталей. На это ушло 765 пудов металлических электродов. А к концу 1896 г. на всех заводах России было исправлено всевозможных деталей (орудийных лафетов, судовых механизмов, доменного и мартеновского оборудования, валов прокатных станков, якорей, цепей, зубчатых колес) общим весом более 42 тыс. пудов.

Электрическая сварка применялась на паровозостроительном заводе в Коломне, на заводах Леснера и Невского механического товарищества в Петербурге, на трех заводах в Варшаве, в Обществе пароходства и торговли в Севастополе, в Сормовских и Нижегородских судоремонтных мастерских, на Ижевском, Боткинском, Луганском и Златоустовском заводах.

Гораздо энергичнее, чем в России, дуговая электрическая сварка металлов стала применяться на зарубежных предприятиях. Уже в 1890–1892 гг. Славянов получил патенты на свое изобретение во Франции, Англии, Австро-Венгрии, Бельгии, Германии, США, Швеции, Италии. В Германии первое место по количеству и весу обрабатываемых способом Славянова деталей занимали заводы Круппа в Эссене. В США больше всего электрической сваркой заинтересовались машиностроительные заводы и железнодорожные мастерские.

Дружная семья Славяновых жила довольно скромно. Значительную часть оклада Николай Гаврилович тратил на опытные работы, связанные с электрической сваркой и другими изобретениями. У Варвары Васильевны и Николая Гавриловича было три сына — Николай, Александр, Василий — и дочь Людмила. Сыновья учились в Пермской мужской гимназии и каждый день, независимо от времени года и погоды, пешком ходили из Мотовилихи в Пермь.

По инициативе Славянова в Пермском реальном училище было открыто горнозаводское отделение, появилась уникальная минералогическая коллекция.

Николай Гаврилович, не жалея сил и здоровья, отдавался любимому делу. Работая на открытом воздухе в электрическом цеху зимой, он сильно простудился и заболел ревматизмом. Это привело к тяжелой болезни сердца. Лечился в Крыму, на минеральных водах, но приостановить развитие болезни не удалось. Дело осложнялось тем, что даже тяжело больной, он всегда ходил на завод. Просто не мог жить без любимой работы.

Жизнь талантливого изобретателя оборвалась внезапно. 27 сентября 1897 г. он подписал свой последний приказ по заводу, 3 октября присутствовал при заварке вала паровой машины, а 5 октября в десять часов утра его не стало. Ему было всего 43 года.

Проводить управляющего в последний путь пришли все рабочие завода, их семьи — свыше десяти тысяч человек. Гроб с телом покойного от дома до ограды мотовилихинской церкви несли на руках. На огромной чугунной плите, что прикрывала могилу изобретателя, при помощи наплавки сде-

### *Продолжение приложения*

лали такую надпись: «Дорогому нашему начальнику и другу рабочих Николаю Гавриловичу Славянову, изобретателю электросварки, от благодарного русского народа» [53].

<sup>22</sup> **Дульчевский Дмитрий Антонович** (1879–1961), российский изобретатель.

В 1895 окончил Одесское техническое училище.

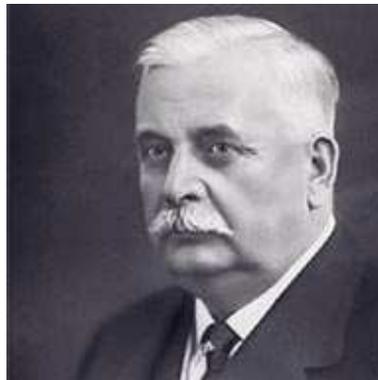
В 1897 был прикомандирован к Рославльским железнодорожным мастерским, где Н.Н. Бенардос в 1888 оборудовал установку для сварки по своему способу.

По возвращении из Рославля Д.А. Дульчевский организовал электросварочную мастерскую в Одесских железнодорожных мастерских.

В 1927 Д.А. Дульчевский изобрел дуговую электросварку красной меди под слоем порошкообразных горючих (сов. патент № 10 578). Этот метод лег в основу способа автоматической сварки, разработанного советскими учеными и инженерами.

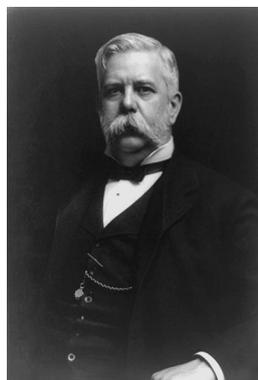
Государственная премия СССР (1941) [54].

<sup>23</sup> **Кьельберг Оскар** – шведский инженер, основатель фирмы "ESAB (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget)"



В 1904 году основал в Гётеборге фирму «ESAB». Деятельность предприятия была связана с применением сварки в судостроении. В результате собственных исследований и наблюдений О. Кьельберг изобрел технологию сварки покрытыми плавящимися электродами. Покрытие стабилизировало горение электрической дуги и защищало зону дуговой сварки. В 1906 году им был получен патент «Процесс электрической сварки и электроды для этих целей». Именно использование покрытых плавящихся электродов дало повод к развитию и использованию сварочных технологий в различных отраслях производства [55].

<sup>24</sup> **Вестингауз Джордж** (англ. George Westinghouse; 6 октября 1846 – 12 марта 1914) – американский промышленник, инженер и предприниматель, основатель компании «Вестингауз Электрик».



## *Продолжение приложения*

Родился 6 октября 1846 года в Централ-Бридже (шт. Нью-Йорк). Потомок семьи русских аристократов фон Вестингаузен; его отец был владельцем машинного цеха, талантливым изобретателем и бизнесменом; получил шесть патентов на сельскохозяйственные механизмы.

Наиболее значимыми изобретениями Джорджа Вестингауза стоит считать работы в области тормозных систем железнодорожного подвижного состава.

Вестингауз сконструировал тормоз, срабатывавший под давлением пара, а затем первый воздушный железнодорожный тормоз (патент получил в 1869 году). В 1872 году Вестингауз ввёл автоматическое управление тормозом, после чего создал компанию по производству тормозов, организовал их внедрение на подвижном составе пассажирского, позднее товарного парка, и эксплуатацию в США, а затем в Западной Европе и России. Во второй половине XX века тормоз Вестингауза стал использоваться на коммерческих автомобилях. Фактически пневматические тормозные системы современных больших автобусов, грузовиков и автопоездов – усовершенствованная версия тормоза Вестингауза.

Джорджу Вестингаузу принадлежат работы в области новой системы сигнализации на железных дорогах, изобретение метода демпфирования ударов при столкновениях вагонов в начале движения состава и при его остановке.

Кроме того, Вестингауз разработал способы безопасной транспортировки природного газа по трубам на большие расстояния, усовершенствовал электрический трансформатор. В 1893 году электросеть Вестингауза освещала Всемирную выставку в Чикаго, а в 1894 году 10 электрогенераторов конструкции Николы Теслы были установлены компанией Вестингауза на новой гидроэлектростанции Ниагарского водопада. В этот период Джордж Вестингауз активно сотрудничает в области переменного тока с сербским изобретателем и всячески его поддерживает. Благодаря чему получает свои наиболее значительные патенты в области переменного тока и оказывается втянутым в патентную войну с компанией Эдисона, закончившуюся только после слияния и образования «General Electric».

Среди других значительных изобретений Вестингауза – трамвайный тяговый электродвигатель; электроприводной тормоз метropоезда, обеспечивающий быструю и безопасную остановку состава; электрифицированный локомотив (электровоз); амортизатор для автомобиля. Всего изобретатель зарегистрировал более 400 патентов.

В 1910 году Вестингауз стал президентом Американского общества инженеров-механиков [56].

<sup>25</sup> **Миткевич Владимир Фёдорович** (1872–1951) – выдающийся русский учёный-электротехник, профессор, академик АН СССР (1929).



В 1901 году предложил для преобразования переменного тока в постоянный схемы однофазного двухполупериодного выпрямителя (двухполупериодный с двумя обмотками) и трёхфазного однополупериодного выпрямителя (однополупериодный с нулевым выводом).

Участник составления плана Государственной комиссии по электрификации России.

Основные труды по теории и физическим основам электротехники, передаче электрической энергии.

Премия им. В.И. Ленина (1928 г.), Сталинская премия первой степени (1943 г.).

## Продолжение приложения

Миткевич предложил для преобразования переменного тока в постоянный схему выпрямителя, широко известную, как «двухполупериодный выпрямитель со средней точкой» («двухфазный четвертьмостовой параллельный») и схему трёхфазного выпрямителя («трёхфазный четвертьмостовой параллельный»).

Преподаватель Высших Женских Политехнических курсов (в 1915 году преобразованы в Женский Политехнический институт, в 1918 г. – во Второй Петроградский Политехнический институт) [57].

<sup>26</sup> **Патон Евгений Оскарлович** [20.2(4.3). 1870, Ницца, – 12.8.1953, Киев] – выдающийся ученый в области мостостроения и электросварки металлов, академик АН УССР, доктор технических наук, профессор, Герой Социалистического Труда, лауреат Государственной премии.



Родился 20 февраля (4 марта) 1870 года в городе Ницца (Франция). Из дворян. Сын русского дипломата, бывшего тогда консулом в Ницце, бывшего полковника гвардии. Получил блестящее домашнее образование. В 1892–1893 годах призывался на службу в Российскую армию, служил в артиллерийских частях Киевского военного округа в звании «фейерверкер».

Окончил Дрезденский политехнический институт в Германии (1894) по специальности инженер-строитель и Петербургский институт инженеров путей сообщения в России (1896), как специалист по сооружению мостов. В 1896–1907 годах работал в техническом отделе Николаевской (Петербургско-Московской) железной дороги. В 1907 году он стал начальником технического отдела службы пути Московско-Ярославско-Архангельской железной дороги.

С 1896 года одновременно с производственной деятельностью Е.О. Патон занимался научной и педагогической работой: с 1896 года – в Петербургском институте инженеров путей сообщения, с 1904 года – в Московском училище инженеров путей сообщения. В 1901–1904 годах был профессором кафедры мостов этого училища.

В 1904 году ученый переехал в Киев. В 1904–1912 годах профессор Е.О. Патон – декан инженерного факультета в Киевском политехническом институте, а в 1905–1929 годах – заведующий кафедрой мостов Киевского политехнического института. Преподавал в институте до 1938 года.

В 1896–1929 годах Е.О. Патон создал множество проектов мостов, в том числе Мухранский мост в Тбилиси, шоссейные мосты через реки Сож, Рось, Днепр и ряд железнодорожных мостов. В 1922–1924 годах им был разработан проект восстановления цепного моста имени Евгении Бош через Днепр в Киеве. В 1921–1931 годах – начальник Киевской мостоиспытательной станции.

Патон заложил основы новой отечественной школы мостостроения. За выдающиеся заслуги в этой области был избран действительным членом Академии наук Украинской ССР (1929). Основы школы мостостроения Е.О. Патона – целесообразное проектирование, удешевление проектов и строительства мостов за счет новаций в области конструктивных форм и экономичности использования металла. Академик Патон первым начал разрабатывать проекты стальных разборных мостов оригинальной конструкции. Такие мосты активно использовались русской армией в первой мировой войне под названием «мостов Патона». Автор значительного числа научных исследований в области прочности, устойчивости и динамики мостов.

## *Продолжение приложения*

В 1929 году произошел существенный поворот в научной деятельности академика Патона. Он приступил к разработке проблем электрической сварки металлов. Это связано с началом массовой индустриализации СССР, сразу выявившей недостатки клепки металлов, повсеместно применявшейся в народном хозяйстве. Сварка имела неоспоримые преимущества перед клепкой, но её проблемы в СССР совершенно не были разработаны, в этом отношении страна отставала от Запада на десятилетия. В 1929 году Е.О. Патон основал сварочную лабораторию и Электросварочный комитет в Киеве и был их руководителем в 1929–1934 годах.

В 1930-е годы Патон опубликовал первые монографии, в которых обобщил основные принципы расчета и проектирования сварных конструкций. Занимался различными аспектами, связанными со сварными соединениями и конструкциями, с их прочностью, оптимальной формой, реакцией на различные воздействия, в том числе на статические и динамические нагрузки, свойствами сварочной дуги и сварочного шва, механизацией и автоматизацией сварочных работ и т. д. В 1932 году под его руководством была разработана автоматическая сварочная головка для сварки открытой дугой. Создатель поточного метода сварочных работ, разрабатывал промышленные поточные линии. Автор технологии сварочных работ в особых условиях и особой сложности.

В 1934 году на базе лаборатории и комитета академик Патон организовал первый в мире Институт электросварки Академии наук УССР в Киеве, который с 1945 года носит его имя, и был его директором в 1934–1953 годах. Институт электросварки быстро превратился в мощную научную школу. Яркой особенностью её была тесная связь с производством: новейшие методы сварки и созданное в Институте оборудование внедрялись в народное хозяйство немедленно, в считанные месяцы. Сам академик в возрасте 70 лет он изобрел новый способ сварки под флюсом (до наших дней это основной способ сварных работ при прокладке газопроводов).

Во время Великой Отечественной войны вместе с институтом Е.О. Патон был эвакуирован на Урал, в город Нижний Тагил. Там он приступил к срочной работе для нужд обороны Родины, возглавил разработку технологии сварки военной бронетехники и специальных сталей, а также автоматизированной сварки. Этот метод в массовом порядке применялся на заводах «Танкограда», что позволило в разы сократить сроки изготовления танков и другой броневой техники. Прочность «швов Патона» в разы превышала прочность сварочных швов любого иностранного танка. При попадании снарядов в танки, сваренные по методу Патона, разрушалась броня, но сварочные швы даже в сантиметре от сквозной пробоины оставались невредимы.

В 1942 году Институт электросварки разработал для заводов Наркомата танковой промышленности и Наркомата боеприпасов 20 проектов установок для автоматической сварки танковых корпусов и 8 – для сварки авиационных бомб и боеприпасов. К концу войны количество таких установок превысило 60 и все они применялись в производстве. Применение автоматической сварки под флюсом для изготовления танков сразу же показало исключительные преимущества этого способа. Производительность труда на сварке узлов танков в среднем повысилась более чем в 5 раз. Производство авиабомб стало полностью поточным. Аналог патоновского способа сварки брони под флюсом был запущен на заводах США только в 1944 году, а гитлеровская Германия так и не смогла создать ничего подобного.

За выдающийся вклад в укрепление обороноспособности страны в трудных условиях военного времени, Указом Президиума Верховного Совета СССР от 1 марта 1943 года Патону Евгению Оскаровичу присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот».

Летом 1944 года Е.О. Патон вернулся из эвакуации в Киев и возглавил восстановление Института электросварки. В послевоенные годы много времени уделял совершенствованию процесса автоматизации сварки. В 1950 году он руководил проектированием и строительством первого цельнометаллического 1542-метрового моста через Днепр в Киеве, который был создан без единой заклепки. В последние годы жизни Е.О.Патон занимался исследованием сварки в углекислом газе. Всего по проектам выдающегося ученого построено свыше 50 клепаных и свыше 100 сварных металлических мостов, а если учесть построенные по созданным им типовым проектам, этот счет пойдет на многие сотни. Большинство из мостов Патона, уцелевших в годы войны, безаварийно служат людям и по сей день.

Е.О. Патон – автор более 300 научных трудов и нескольких теоретических курсов. Среди по мостостроению и сварке: «Расчет сквозных ферм с жесткими узлами», «Железные мосты» в 4 томах, «Деревянные железнодорожные мосты», «Автоматическая сварка голым электродом под слоем флюса» и другие. Организатор и главный редактор журнала «Автоматическая сварка».

## *Продолжение приложения*

С 1935 года – бессменный член Президиума Академии наук Украинской ССР. В 1945–1952 годах был вице-президентом Академии наук Украинской ССР. Депутат Верховного Совета СССР 2-3 созывов (1946–1953).

Жил в Киеве. Умер 12 августа 1953 года. Похоронен на Байковом кладбище в Киеве.

Лауреат Сталинской премии СССР (1941). Доктор технических наук.

Награждён 2 орденами Ленина (1942, 1943), орденами Трудового Красного Знамени (1940), Отечественной войны 1-й степени (1945), Красной Звезды (1942), медалями.

Имя выдающегося ученого носят Институт электросварки Академии наук Украины в Киеве (с 1945), цельнометаллический 1542-метровый мост через Днепр в Киеве (с 1953), малая планета, улицы в Днепропетровске, Львове, Херсоне, Нижнем Тагиле, Омске, Макеевке. В Киеве у здания Киевского политехнического института Е.О. Патону установлен памятник, на фасаде главного корпуса КПИ, на фасаде здания института электросварки и на доме, в котором жил – мемориальные доски. Также мемориальная доска установлена в городе Днепропетровск на здании завода металлоконструкций имени И.В. Бабушкина [58], [59].

<sup>27</sup> **Вологдин, Виктор Петрович** (28 июля 1883 года, Пермская губерния, Российская империя – 14 октября 1950 года, Ленинград, СССР) – советский учёный и инженер, пионер применения электросварки в судостроении. Спроектировал и построил первое в СССР цельносварное судно. Профессор и ректор Дальневосточного государственного университета.



В 1894 году, будучи учеником реального училища, посетил знаменитый электросварочный цех («электролитную фабрику») Н.Г. Славянова на Пермских пушечных заводах, что определило сферу его будущих научных интересов.

В 1902 году поступил в Морское инженерное училище Императора Николая I, где достиг больших успехов и был удостоен чина фельдфебеля. Однако в 1906 году вместе с 10 соучениками выразил солидарность с участниками революционного движения и приказом Морского министра И.К. Григоровича изгнан из училища.

В 1906 году поступил в Политехнический институт в Петербурге на электромеханическое отделение и в 1910 году (по другим данным – в 1909[3]) окончил его, был оставлен преподавателем на механическом факультете.

В 1911 году а для ознакомления с постановкой турбостроения выезжал в Германию Францию, Швейцарию. В декабре 1914 года по приказу министра Григоровича переведён в Морское ведомство, на должность старшего производителя работ в чертёжной Главного управления Кораблестроения. Одновременно преподавал в Петроградском институте путей сообщения и на кораблестроительном отделении Политехнического института.

В 1918–1919 годах воевал в армии Колчака в звании старшего лейтенанта, за храбрость, проявленную в борьбе с большевиками произведён в капитаны 2-го ранга, награждён орденом св. Владимира 4 степени с мечами и бантами и орденом Св. Станислава 3 степени.

С ноября 1919 Виктор Петрович – представитель Морского ведомства и директор правления «Дальзавода» во Владивостоке.

## *Продолжение приложения*

В 1920 году начал исследовать вопросы применения электросварки для ремонта судов, избран профессором Дальневосточного университета (ГДУ) во Владивостоке.

В 1925 году создал первую в СССР научно-исследовательскую лабораторию газовой и электрической сварки в ГДУ.

В 1925 году назначен ректором ГДУ и находился на этой должности до 1928 года.

В 1926 году на Дальзаводе организовал сварочное производство паровых котлов.

6 июня 1927 года Вологдин составил краткую рукописную записку «Применение электрической дуговой сварки при постройке мостов и крупных железных конструкций».

В 1928 году он спроектировал и построил цельносварной Казанский пост на полуостров Шкота во Владивостоке. Четыре сварщика сварили мост с пролётом 25 м всего за 20 дней, сэкономив 25 % металла по сравнению с клёпаной конструкцией. В 1929–1931 годах построил ещё два цельносварных моста, в том числе мост тяжёлого типа с пролётом 36,6 м и общим весом около 300 т.

Кроме того, он применил сварку для изготовления металлических топливных резервуаров, а 4 ноября 1930 года построил первое в СССР цельносварное судно — буксирный катер серии «Ж» (ЖС-6).

Большое внимание уделял подготовке квалифицированных инженеров-сварщиков. Организовал кафедру сварки в ГДУ. Он же разработал первый учебный план, систему обозначений на сварочных соединениях на чертежах, государственные стандарты на электроды, контроль качества сварки и впервые начал читать курс сварки. После того, как в 1930 году ГДУ был разделён на несколько институтов, работал в Дальневосточном политехническом институте (ДВПИ). В 1930 году состоялся первый выпуск факультета сварки ДВПИ (три инженера-механика сварочной специальности).

В 1932–1933 годах – директор Владивостокского института техники АН СССР.

В.П. Вологдин приложил огромные усилия для внедрения электросварки в практику судостроения. До 1933 года он сделал более 130 докладов о сварке в Госплане, на судостроительных заводах, на Всесоюзном съезде сварщиков. Только после гибели парохода «Челюскин» и аварий других судов в Арктике ненадёжность клёпанных соединений стала очевидной. Сварка стала широко применяться на судостроительных предприятиях, обеспечив большую прочность, меньшую массу и меньшую трудоёмкость строительства судов.

В 1933 году Вологдин переехал в Ленинград, где был назначен руководителем сварочной группы технического отдела Главморпрома.

В 1934 году избран профессором Ленинградского кораблестроительного института. Одновременно в 1933–1934 годах работает профессором электросварочного института, консультирует строителей крупнейших новостроек СССР (Адмиралтейский и Балтийский судостроительные заводы, Кировский завод, Днепрогресс).

В 1935 году в Ленинграде построил первый полусварной морской пароход «Седов». Под влиянием Вологодина на ряде заводов началась постройка сварных доков, теплоходов для Каспийского моря и других цельносварных судов.

К началу Великой Отечественной войны сварка в судостроении почти полностью вытеснила клепку. В 1939 году клепка для изготовления речных судов была запрещена постановлением правительства. В годы войны все корпуса строящихся судов, как и их ремонт, выполнялись только с помощью электросварки.

С 1934 по 1949 год Вологдин работал заведующим кафедрой сварки Ленинградского кораблестроительного института.

В последние годы жизни (1946–1950 годы) руководил постройкой цельносварных кораблей и судов на заводах Ленинграда, занимался научной и педагогической деятельностью.

Виктор Петрович умер в ночь на 14 октября 1950 года. Похоронен на Большеохтинском кладбище в Санкт-Петербурге. Его имя было присвоено кафедре сварки судовых конструкций Ленинградского кораблестроительного института и контейнеровозу «Профессор Виктор Вологдин», он был награждён орденом Трудового Красного Знамени [60].

<sup>28</sup> **Никола́ев Гео́ргий Алекса́ндрович** (1903–1992) – советский ученый, академик АН СССР (1979), ректор МВТУ им. Н. Э. Баумана, Герой Социалистического труда (1969), Лауреат Государственной премии СССР (1972).

Георгий Александрович впервые установил основные характеристики вибрационной прочности сварных конструкций и разработал технические условия на их проектирование. Его работы по-

## *Продолжение приложения*

служили научной основой для повсеместного внедрения в СССР сварки вместо клёпки в конструкциях промышленных сооружений, при изготовлении котлов и вагонов. Георгий Александрович Николаев – автор фундаментальных исследований собственных напряжений и деформаций в сварных конструкциях, работ по регулированию остаточных напряжений при сварке, о влиянии времени на остаточные напряжения в сварных конструкциях, а также трудов по соединению и резке живых биологических тканей.



С 1947 по 1989 годы Георгий Александрович Николаев возглавлял кафедру «Машины и автоматизация сварочных процессов» МВТУ им. Н.Э. Баумана. Он являлся создателем и руководителем крупной научной школы сварщиков, основателем научной школы прочности и деформируемости сварных конструкций, обогатившей сварочную науку фундаментальными теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Им впервые были установлены основные характеристики прочности сварных конструкций и разработаны технические условия на их проектирование. Его глубокие исследования собственных напряжений и деформаций сварных конструкций явились основой ряда новых направлений в науке о сварке. Эти разработки и исследования послужили теоретической и практической базой широкого внедрения сварки в различные отрасли народного хозяйства. По проектам Г.А. Николаева были изготовлены первые в стране сварные железнодорожные мосты. Он участник проектирования сварных конструкций вагонов метро, электровозов, доменных печей, Останкинской телебашни, Выставочного комплекса в США, высотных зданий, некоторых скульптурных памятников и сооружений.

В годы Великой отечественной войны Г.А. Николаевым разработаны и внедрены в производство вооружения технологические процессы сварки. Под непосредственным его руководством и при его участии были достигнуты выдающиеся результаты в создании принципиально новых дуговых сварочных процессов в вакууме, сварки и резки неметаллических материалов с помощью ультразвука.

Г.А. Николаев – автор многих фундаментальных учебников, учебных пособий и монографий, изданных у нас в стране и за рубежом. Под его руководством на кафедре сварки были созданы три крупных научных направления:

- 1) прочность сварных конструкций;
- 2) технология сварочных процессов;
- 3) контроль качества и диагностика сварных соединений.

Г.А. Николаев умер 18 мая 1992 года. Похоронен в Москве на Рогожском кладбище [61].

<sup>29</sup> **Михайлов Григорий Петрович** (1899–1957) Окончил Московский институт инженеров путей сообщения (1924), инженер путей сообщения; Уральский металлургический институт (1933), инженер-металлург. Доктор технических наук (1951), профессор (1940).

Награжден орденом «Знак Почета», медалью. Работал в проектных и строительных организациях, на Уралмашзаводе.

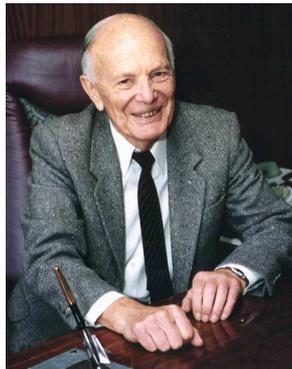
## *Продолжение приложения*

В 1932–1934 гг. – заведующий кафедрой «Строительная механика и металлические конструкции» Уральского механико-машиностроительного института; в 1936–1944 и 1951–1957 гг. — заведующий кафедрой технологии сварочного производства, в 1955–1957 гг. — декан механического факультета Уральского политехнического института.



Под его руководством научно обоснован способ сварки трехфазной дугой, разработаны технология и оборудование для его осуществления, выполнены работы по его внедрению на заводах Урала. Подготовил 13 кандидатов наук. Автор 60 печатных работ, 6 монографий. Имеет 11 авторских свидетельств на изобретения [62].

<sup>30</sup> **Патон Борис Евгеньевич** (род. 27 ноября 1918, Киев, Украинская держава) – советский и украинский учёный в области металлургии и технологии металлов, профессор, доктор технических наук, дважды Герой Социалистического Труда, первый в истории Герой Украины.



Президент Национальной академии наук Украины (с 1962 года), академик Национальной академии наук Украины (с 1958 года), академик АН СССР – ныне РАН (с 1962 года), президент Международной ассоциации академий наук, почётный член Римского клуба.

Родился в семье академика Евгения Оскаровича Патона (1870–1953), директора Института электросварки и Натальи Викторовны Патон (1885–1971), домохозяйки.

В 1941 году окончил Киевский политехнический институт по специальности «инженер-электрик»; кандидатская диссертация «Анализ работы сварочных головок и средств их питания при сваривании под флюсом» (1945); докторская диссертация «Исследование условий стойкого горения сварочной дуги и её регулирование» (1952).

В 1941–1942 годах – инженер электротехнической лаборатории, завод «Красное Сормово», г. Горький. Более 70 лет работает в Институте электросварки им. Е. О. Патона: в 1942–1945 годах – младший и старший научный сотрудник, в 1945–1950 годах – заведующий отделом, в 1950–1953 годах – заместитель директора по научной работе, с 1953 года – директор. С 1960-х годов является членом редколлегии журнала «Наука и жизнь».

В 1986–1994 годах – председатель Межведомственного научного совета по проблемам технического и социально-экономического прогнозирования при Президиуме НАНУ и Госплане УССР (с 1992 года – при Минэкономике Украины); главный редактор журналов «Автоматическая сварка», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Современная электрометаллургия»,

## *Продолжение приложения*

«Вестник Национальной академии наук Украины». В 1992–1995 годах – глава Комитета по Государственным премиям Украины в области науки и техники. В апреле – октябре 1992 года – член Коллегии по вопросам технической политики Верховной рады Украины.

В 1959–1988 годах – депутат, в 1963–1980 годах – член Президиума ВС УССР, в 1962–1989 – депутат Совета Союза ВС СССР 6-11 созывов от Киева, в 1966–1989 годах – заместитель Председателя Совета Союза. В 1989–1991 годах – народный депутат СССР от КПСС. В 1966–1991 годах – член ЦК КПСС; в 1960–1991 годах – член ЦК КПУ. Член Совета национальной безопасности и обороны Украины (август 1997 – февраль 2005).

Автор свыше 1000 публикаций, в частности 20 монографий; свыше 400 изобретений. Научные исследования посвящены процессам автоматического и полуавтоматического сваривания под флюсом, разработке теоретических основ создания автоматов и полуавтоматов для дугового сваривания и сварочных источников питания; условиям продолжительного горения дуги и её регулирования; проблеме управления сварочными процессами. Изучает системы управления с разнообразными кибернетическими приборами, работает над созданием сварочных роботов. Большое внимание уделяет изучению металлургии сваривания, усовершенствованию существующих и созданию новых металлических материалов.

Возглавлял исследование по применению сварочных источников теплоты в специальных плавильных агрегатах, которые увенчались созданием новой области качественной металлургии – спецэлектрометаллургии (электрошлаковый, плазмово-дуговой и электронно-лучевой переплавы). Внешние изображения

Член Президиума АН СССР (1963–1991). С 1963 по 1991 годы – член Президиума Комитета по Ленинской и Государственной премиям СССР в области науки и техники; с 1989 по 1991 год – глава Комитета международной Ленинской премии мира. Академик АН СССР (1962; с 1992 – РАН), иностранный член Болгарской АН (1969), Чехословацкой АН (1973), Академии наук и искусств Боснии и Герцоговины (1975), АН ГДР (1980), Шведской королевской академии инженерных наук (1986), Национальной АН Индии (1994), Национальной АН Республики Армения (1994), АН Беларуси (1995), АН Казахстана (1995), АН Грузии (1996), Национальной АН Таджикистана (2001), Национальной АН Киргизской Республики (2004), Академии Европы (1991), Международной АН образования, индустрии и искусства (США, 1997), Международной академии астронавтики (США, 1997), член Международной инженерной академии (1991), Американского сварочного общества (1978), Международного общества по материаловедению (1994); почётный член, президент Украинской ассоциации Римского клуба (1990), почётный член Международной академии наук, образования и искусства (International Academy of Sciences, Education and Arts). Почётный член Академии наук Молдавии (1998).

Герой Украины с вручением ордена Державы (26 ноября 1998 года) – за самоотверженное служение науке, выдающиеся достижения в области сварки и специальной электрометаллургии, которые содействовали признанию и утверждению авторитета отечественной науки в мире (первым в истории удостоен данного звания)

Орден Свободы (21 января 2012 года) – за значительный личный вклад в социально-экономическое, научно-техническое, культурно-образовательное развитие независимого Украинского государства, весомые трудовые достижения, многолетний добросовестный труд.

Орден князя Ярослава Мудрого I степени (27 ноября 2008) – за многолетнее неутомимое служение отечественной науке, выдающийся личный вклад в укрепление научного и экономического потенциала Украины

Орден князя Ярослава Мудрого IV степени (26 ноября 2003) – за выдающиеся личные заслуги в развитии отечественной науки, укрепление научно-технического потенциала и по случаю 85-летия Национальной академии наук Украины

Орден князя Ярослава Мудрого V степени (13 мая 1997) – за выдающиеся личные заслуги перед Украинским государством в развитии науки, утверждении авторитета национальной академической школы в мире

Орден «За заслуги» I степени (27 ноября 2013) – за выдающиеся личные заслуги в укреплении научно-технического потенциала Украинского государства, многолетнее самоотверженное служение отечественной науке.

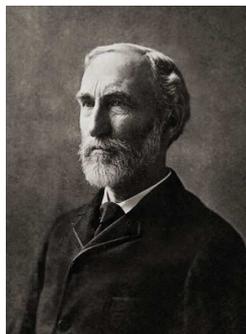
Почётный знак отличия Президента Украины (1993).

Дважды Герой Социалистического Труда (1969, 1978).

Четыре ордена Ленина (1967, 1969, 1975, 1978).

Орден Октябрьской Революции (1984).  
Орден Трудового Красного Знамени (1943).  
Орден Дружбы народов (1988).  
Орден «За заслуги перед Отечеством» I степени (Россия, 26 ноября 2008) – за выдающийся вклад в развитие мировой науки, укрепление научных и культурных связей между государствами – участниками Содружества Независимых Государств.  
Орден «За заслуги перед Отечеством» II степени (Россия, 27 ноября 1998) – за выдающийся вклад в развитие науки.  
Орден Почёта (Россия, 19 января 2004) – за большой вклад в развитие науки и укрепление дружбы и сотрудничества между Российской Федерацией и Украиной.  
Ленинская премия (1957).  
Сталинская премия (1950).  
Государственные премии Украины (1970, 2004).  
Премия Совета Министров СССР (1988).  
Премия Совета Министров УССР (1984).  
Премия «Триумф» (Россия, 2004).  
Заслуженный деятель науки и техники Украинской ССР (1968).  
Заслуженный изобретатель СССР (1983).  
Золотая медаль им. М.В. Ломоносова АН СССР (1981).  
Золотая медаль им. С.И. Вавилова.  
Золотая медаль им. С.П. Королёва (2003).  
Золотая медаль им. Яна Чохральского (2006).  
Серебряная медаль ЮНЕСКО имени Альберта Эйнштейна.  
Почётный гражданин Киева, почётный гражданин Мариуполя (1998, за выдающиеся заслуги перед Мариуполем).  
Почётный профессор МФТИ (2003).  
Премия «Глобальная энергия» (2010).  
Как дважды Герой Социалистического Труда, по тогдашним советским законам, Б.Е. Патон удостоен прижизненного бюста на родине – в городе Киеве. Патон – единственный киевлянин, увековеченный таким образом. Бюст Патона (скульптор А. Скобликов, 1982) установлен перед зданием академических музеев на улице Богдана Хмельницкого, 15. На сегодняшний день Б.Е. Патон является старейшим Дважды Героем Социалистического Труда.  
Жена Ольга Борисовна Патон (1921–2013) – научный работник, инженер Института механики НАНУ; дочь Евгения Борисовна Патон (12 марта 1956 – 23 декабря 2009) – была членом-корреспондентом НАНУ, заведующей лабораторией Института клеточной биологии и генетической инженерии НАНУ [63].

<sup>31</sup> **Гиббс Джозайя Уиллард** (англ. Josiah Willard Gibbs; 1839–1903) – американский физик, физикохимик, математик и механик, один из создателей векторного анализа, статистической физики, математической теории термодинамики, что во многом предопределило развитие современных точных наук и естествознания в целом. Образ Гиббса запечатлён в «Галерее славы великих американцев». Его имя присвоено многим величинам и понятиям химической термодинамики: энергия Гиббса, парадокс Гиббса, правило фаз Гиббса – Гельмгольца, уравнения Гиббса – Дюгема (англ.), лемма Гиббса, треугольник Гиббса – Розебома и др.



## *Продолжение приложения*

В 1901 г. Гиббс был удостоен высшей награды международного научного сообщества того времени (присуждаемой каждый год только одному учёному) – Медали Копли Лондонского королевского общества – за то, что он стал «первым, кто применил второй закон термодинамики для всестороннего рассмотрения соотношения между химической, электрической и тепловой энергией и способностью к совершению работы» [64].

<sup>32</sup> **Хренов Константин Константинович** (25 февраля 1894 – 12 октября 1984) – специалист в области металлургии и сварки металлов, доктор технических наук (с 1940), академик АН УССР (с 1945), член президиума АН УССР (с 1953), член-корреспондент АН СССР (с 1953), создатель технологии электродуговой сварки и резки под водой.



В 1918 году окончил электрохимическое отделение ЭТИ. В 1921–1925 преподавал на кафедре общей химии в ЛЭТИ.

В 1928–1947 преподавал в Московском электромеханическом институте инженеров железнодорожного транспорта и одновременно с 1931 года в Московском высшем техническом училище.

В 1945–1948 годах и после 1963 года работал в Институте электросварки АН УССР. В 1948–1952 годах работал в Институте строительной механики АН УССР. С 1952 года работал в Институте электротехники АН УССР. С 1947 по 1958 год – профессор Киевского политехнического института.

Впервые в мире создал и реализовал на практике процессы электродуговой сварки и резки под водой, которые нашли широкое применение при восстановлении мостов и ремонте судов. Им разработаны источники электропитания для дуговой и контактной сварки, керамические флюсы, электродные покрытия, способы холодной сварки давлением, газопрессовая сварка, плазменная резка. Внес вклад в разработку способа сварки чугуна, газопрессовой сварки, дефектоскопии сварных соединений.

Один из организаторов подготовки советских инженеров-сварщиков.

Хренову было разрешено подписывать официальные бумаги «Хренов К.К., академик» вместо требуемого нормами советского документооборота «Академик Хренов К.К.», чтобы не создавать ненужный комический эффект [65].

<sup>33</sup> **Ленгмюр Ирвинг** (англ. Irving Langmuir) 31 января 1881, Нью-Йорк – 16 августа 1957, Вудс-Хол, Массачусетс) – американский химик, лауреат Нобелевской премии по химии в 1932 году «за открытия и исследования в области химии поверхностных явлений».

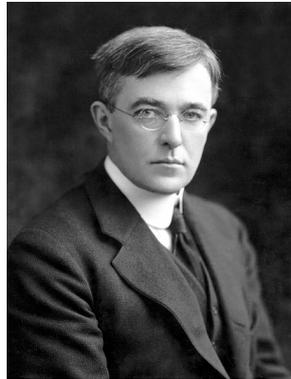
Родился 31 января 1881 года в Нью-Йорке, в Бруклине. Был третьим из четырёх сыновей в семье Чарльза Ленгмюра и Сэиди Камингс. Отец, шотландец по происхождению, работал страховым агентом. Ленгмюр посещал школы в Париже, Нью-Йорке и Филадельфии, а затем поступил в Институт Пратта в Бруклине, который окончил в 1899 году.

Став студентом Колумбийского университета, он записался и в Горный институт, так как он полагал, что «знаний по физике там давали больше, чем на химическом отделении, по математике – больше, чем на физическом, а я хотел изучить все три эти дисциплины».

В 1903 году получил диплом инженера-металлурга и уехал в Германию, где продолжил своё обучение в Гёттингенском университете под руководством В. Нернста (Нобелевская премия, 1920).

## Продолжение приложения

Занимаясь исследовательской работой в Гёттингене, он сосредоточил внимание на диссоциации газов при соприкосновении с раскалённой платиновой проволокой – теме, связанной с его будущими исследованиями электрического освещения. В 1906 году Гёттингенским университетом ему была присуждена докторская степень. Являясь учеником В. Нернста, Ленгмюр принадлежит к великой физико-химической школе, основателями которой были Нобелевские лауреаты Я. Вант-Гофф, С. Аррениус, В. Оствальд.



Вернувшись в Америку, он в течение трёх лет работал преподавателем химии в Стивенсоновском технологическом институте в Хобокене (штат Нью-Джерси).

Летом 1909 года перешёл в научно-исследовательскую лабораторию компании «Дженерал электрик» в Скенектади (штат Нью-Йорк). Руководство «Дженерал электрик» решило, что компания должна внести свой вклад в развитие научных знаний. Свобода и широкие возможности, которые предоставлялись лаборатории для проведения научных исследований, открыли Ленгмюру весь спектр тех проблем, которые он потом решал на протяжении последующей деятельности.

Через три года он оспорил общепринятое представление, что совершенная лампочка получается благодаря безукоризненному вакууму. Он доказал, что заполненная азотом лампа светит сильнее и ярче, чем вакуумированная. Простота и эффективность новой электрической лампы обеспечивала экономию огромного количества энергии и принесла большую прибыль компании.

Интересуясь вакуумом, Ленгмюр изобрёл в 1916 году ртутный высоковакуумный насос. Этот насос был в 100 раз более мощным, чем любой из ранее существовавших, и с его помощью удалось создать низкое давление, необходимое для изготовления вакуумных электронных ламп, которые применяются в радиотехнике.

Изучая свойства нити в электрической лампочке, он в 1916 году обнаружил, что вольфрамовая нить проявляет лучшие качества, если её покрыть слоем оксида тория толщиной всего в одну молекулу. Он подверг анализу узкую пластинку вольфрама, покрытую оксидом тория, чтобы установить её способность испускать электроны. Это исследование побудило его обратиться к изучению поверхностных явлений – молекулярной активности, которая наблюдается в тонких покрытиях или на поверхностях. Он изучал адсорбцию и поверхностное натяжение, а также поведение тонких покрытий жидких и твёрдых тел.

Основываясь на имеющихся достижениях в области теории строения атома, Ленгмюр описал химическое поведение поверхностей как поведение отдельных атомов и молекул, которые, подобно фигурам на шахматной доске, занимают отдельные клетки – участки поверхности. Это привело его к выводу уравнения изотермы адсорбции, известного как уравнение Ленгмюра.

Развивая представления о строении мономолекулярных адсорбционных слоев на поверхности жидкостей, он показал, что разрежённые монослои обладают свойствами двумерного газа, а в насыщенных монослоях молекулы ориентированы в зависимости от полярности их концевых групп, что в ряде случаев позволяет установить их строение, форму и размеры.

Он установил также, что в явлении адсорбции принимают участие кулоновские, дипольные межмолекулярные и валентные силы, вандерваальсовы силы притяжения и силы отталкивания, вызываемые непроницаемостью заполненных электронных оболочек.

Во время Первой мировой войны Ленгмюр разрабатывал способы обнаружения подводных лодок.

## *Продолжение приложения*

После войны он внёс вклад в развитие учения об атоме, описав химическую валентность (способность атомов образовывать химические связи) как зависящую от заполнения электронами электронной «оболочки», которая окружает атомное ядро.

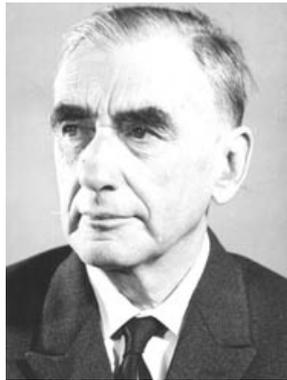
В 1923 году приступил к исследованию свойств электрических разрядов в газах. Он ввёл термин «плазма» для ионизированного газа, который образовывался, когда в ходе экспериментов изменялись чрезвычайно мощные переменные токи. Он также разработал теорию электронной температуры и способ измерения электронной температуры и ионной плотности с помощью специального электрода, называемого теперь зондом Ленгмюра.

В 1932 году Ленгмюру была присуждена Нобелевская премия по химии «за открытия и исследования в области химии поверхностных явлений».

В год получения премии он был назначен директором лаборатории компании «Дженерал электрик». Все 37 лет работы в фирме вёл рабочий дневник, который составил 54 тома объёмом 330 страниц каждый.

Начиная с 1938 года и до выхода в отставку, Ленгмюр посвятил себя изучению природы, особенно атмосферы. Во время Второй мировой войны Ленгмюр участвовал в создании аппаратуры, обеспечивающей дымовую завесу. Работал он и над созданием методов предотвращения обледенения самолётов. После войны Ленгмюр изучал проблемы контроля погоды и рассеивания облаков с помощью твёрдой углекислоты и йодида серебра [66].

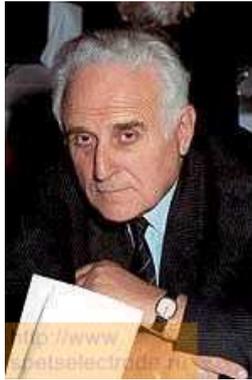
<sup>34</sup> **Рыкалин Николай Николаевич** (27 сентября 1903 – 21 мая 1985) – советский учёный в области сварки и металлургии, академик АН СССР (1968; член-корреспондент 1953).



По окончании Дальневосточного университета (1929) работал там же; в 1936–39 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана; в 1939–53 в секции по научной разработке проблем электросварки и электротермии АН СССР. С 1953 руководит лабораторией института металлургии им. А. А. Байкова. Основные труды по теплофизическим основам обработки металлов, сварке металлов и плазменным процессам в металлургии и технологии неорганических материалов. Результатом его исследований явились монографии «Тепловые основы сварки» (1947г.), «Расчеты тепловых процессов при сварке» (1951г.). В дальнейшем он издает обобщающий труд «Тепловые процессы при сварке, их теория и инженерные расчеты» (1958г.)

Рыкалин Н.Н. – вице-президент Международного института сварки и председатель Национального комитета СССР по сварке, член Сербской академии наук и искусств (1959). Награжден 4 орденами, а также медалями [67].

<sup>35</sup> **Походня Игорь Константинович** родился 24 января 1927 г. в Москве. В 1930–1941 гг. учился и жил в Минске. Во время Отечественной войны окончил среднюю школу и поступил в Киевский политехнический институт. После окончания учебы работал начальником бюро сварки Донецкого машиностроительного завода, руководил работами по автоматизации сварки конструкций горно-шахтного оборудования. В 1952 г. поступил в аспирантуру Института электросварки им. Е.О. Патона.



Его фундаментальные исследования закономерностей кинетики плавления и переноса металла сварочных электродов, распределения температуры в сварочной ванне и каплях металла сварочных электродов процессов абсорбции и десорбции газов, взаимодействия в системе «состав-структура-свойства» применительно к методу сварных швов электродов внесли большой вклад в теорию сварочных процессов и получили мировое признание. Они послужили теоретической базой для создания многих марок прогрессивных сварочных материалов в том числе электродов сварочных. С участием И.К. Походни были созданы промышленные технологии изготовления электродов, построены мощные цеха по производству сварочных электродов и порошковых проволок, что позволило обеспечивать потребности предприятий СССР и Украины в этих материалах при изготовлении сварных металлоконструкций из углеродистых и низколегированных сталей [68].

<sup>36</sup> **Медовар Борис Израилевич** (29 марта 1916 – 19 марта 2000 года, Киев) – металлург, доктор технических наук (1960), профессор (1963), академик АН УССР (1973).



Окончил Киевский индустриальный институт в 1940 году. С 1941 года работал под руководством Е.О. Патона в Институте электросварки в Киеве (с перерывом в 1941–1942 годах, когда служил в действующей армии). В 1942 году вернулся с фронта и работал над внедрением патоновской технологии сварки под флюсом корпусов танков на уральских танковых заводах. Разработал (1944–1951) основные положения скоростной сварки под флюсом для изготовления стальных труб большого диаметра.

Под руководством Б.И. Медовара в 1956–1957 годах была создана первая электропечь типа Р-909 для получения слитков круглого сечения массой 500 т.

С начала 1960-х годов разрабатывал теоретические основы металловедения и металлургии сварки аустенитных сталей. Является одним из соавторов технологии электрошлаковой сварки, наплавления, переплава и литья. С 1979 года руководил работами по созданию нового класса конструкционных металлических материалов. Заслуженный деятель науки и техники УССР (1991) [69].

<sup>37</sup> **Владимир Евгеньевич Патон** (18 марта 1917 – 28 февраля 1987) – советский учёный, заместитель начальника Исследовательского конструкторско-технологического бюро.

Владимир родился 18 февраля 1917 года в семье Евгения Оскаровича Патона и Натальи Викторовны Будде. Окончил индустриальный институт в Свердловске. После окончания вплоть до ноября 1943 года работал на должности технолога на металлургическом заводе. С 1943 года перешёл в Институт электросварки [70].

<sup>38</sup> **Радченко Василий Григорьевич** (7 августа 1926, с. Вареновка, Неклиновский район, Ростовская область, РСФСР – 14 мая 2012, Барнаул, Российская Федерация) – советский и российский учёный, заведующий кафедрой «Малый бизнес и сварочное производство» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В 1949 г. с отличием окончил Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения по специальности «Оборудование и технология сварочного производства».

Трудовую деятельность в 1943 г. учеником слесаря, разметчиком 5 разряда металлургического завода им. Андреева в Таганроге Ростовской области.

1949–1956 гг. – старший мастер по сварке, заместитель начальника цеха сварных металлоконструкций, начальник электродно-флюсового цеха, заместитель начальника цеха сварных барабанов, заместитель главного инженера Таганрогского завода «Красный котельщик» (ТКЗ),



1956–1990 гг. – главный инженер Барнаульского котельного завода,

1960–1987 гг. – ректор Алтайского политехнического института. В результате его деятельности этого в АлтПИ и его филиалах в гг. Рубцовске и Бийске были выстроены и оснащены новым оборудованием и приборами все учебные и лабораторные корпуса, студенческие общежития, жилой дом, санаторий-профилакторий, крытый спортивный манеж, студенческое кафе, комплекс спортивно-оздоровительного лагеря и другие сооружения. Под его непосредственным научным руководством в АлтПИ впервые в техническом вузе СССР была выполнена крупная комплексная научная, организационная и методическая работа по научному направлению в области «Технологии высшего образования» (на базе ЭВМ) по фундаментализации объективной проверки знаний абитуриентов, разработана (с помощью НИИВШ МВ и ССО СССР – А.Я. Савельева) и широко внедрена во многих вузах страны автоматизированная система приема вступительных экзаменов по всем дисциплинам (математике, физике, химии, русскому языку и литературе) с помощью мощной вычислительной техники ЕС ЭВМ, а затем и ПЭВМ (АСУ «Вуз-Абитуриент – Прием-АлтПИ»), которая позже была модернизирована и в настоящее время успешно применяется в АлтПИ-АлтГТУ, в вузах России и стран СНГ.

1969 г. – основатель научно-педагогической школы в области сварочного производства, организатор и заведующий кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства», в 1997 г. она была преобразована в кафедру «Малый бизнес и сварочное производство». Являлся автором и соавтором более 400 научных и методических работ.

## Продолжение приложения

Многие годы был председателем совета ректоров вузов Алтайского края, неоднократно избирался в районный, городской и краевой Советы народных депутатов, Верховный Совет РСФСР (1980–1985 гг.).

Награждён четырьмя орденами Трудового Красного Знамени, девятью медалями. Лауреат Ленинской премии в области науки и техники, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации.

Почетный гражданин города Барнаула [71].

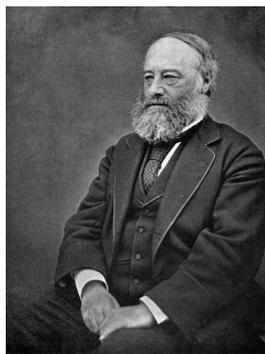
<sup>39</sup> **Тенар Луи Жак** (фр. Louis Jacques Thénard; 4 мая 1777, Ла-Лутьер-Тенар – 20 июня 1857, Париж) – французский химик, член Парижской Академии наук (1810), её Президент 1823 году.

Профессор Коллеж де Франс (1804–40), с 1810 профессор Парижского университета и Политехнической школы в Париже. Почётный член Петербургской АН (1826).

Совместно с Ж. Л. Гей-Люссаком разработал способ получения калия и натрия восстановлением их гидроокисей железом при нагревании, получил бор (неочищенный) действием на борный ангидрид (1808) калия, обнаружил действие света на реакцию хлора с водородом (1809), предложил метод анализа органических веществ, доказал, что натрий, калий и хлор – элементы (1810). Открыл (1818) пероксид водорода. Луи Жак Тенар – автор многочисленных работ в области химии и химической технологии [72].

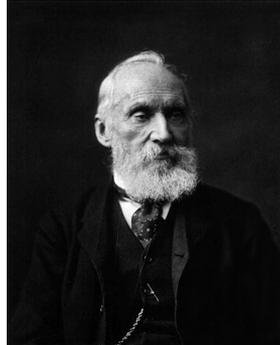


<sup>40</sup> **Джбуль Джеймс Прэскотт** (англ. James Prescott Joule; 24 декабря 1818, Солфорд, Ланкашир, Англия, Великобритания – 11 октября 1889, Сэйл, Чешир, Англия, Великобритания) – английский физик, внесший значительный вклад в становление термодинамики.

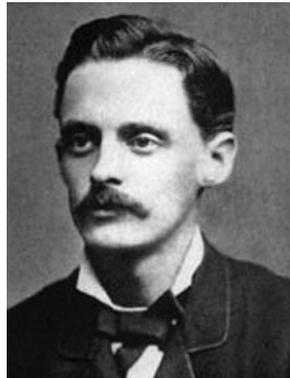


Экспериментально и теоретически изучал природу тепла и обнаружил её связь с механической работой, в результате практически одновременно с Майером пришёл к концепции всеобщего сохранения энергии, что, в свою очередь, обеспечило формулировку первого закона термодинамики. Работал с Томсоном над абсолютной шкалой температуры, описал явление магнитострикции, открыл связь между током, текущим через проводник с определённым сопротивлением и выделяющимся при этом количеством теплоты (закон Джоуля–Ленца). Внёс значительный вклад в технику физического эксперимента, усовершенствовал конструкции многих измерительных приборов [73].

<sup>41</sup> **Томсон Уильям, лорд Кельвин** (англ. William Thomson, 1st Baron Kelvin; род. 26 июня 1824 года в Белфасте, Ирландия; умер 17 декабря 1907 года в Ларгсе, Эршир (англ.) русск., Шотландия) – британский физик и механик. Известен своими работами в области термодинамики, механики, электродинамики [74].

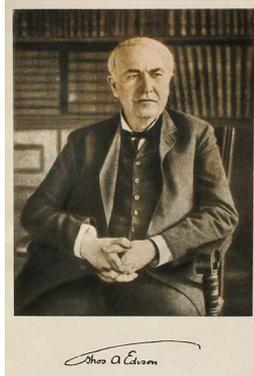


<sup>42</sup> **Томсон Элихью** (англ. Elihu Thomson; 29 марта 1853 – 13 марта 1937) – британский, американский инженер, изобретатель и предприниматель. Родился в Манчестере (Англия) 29 марта 1853 года. Вместе с семьёй переехал в Филадельфию в 1858 году. Томсон обучался Central High School в Филадельфии, которую окончил в 1870 году. После окончания школы стал преподавателем, а в 1876 году, в возрасте двадцати трех лет, стал заведующим кафедрой химии. В 1877 году начал исследования в области контактной сварки, разработал способ стыковой сварки и внедрил её в промышленность. В 1880 году он завершил преподавание и стал проводить исследования в области электротехники.



Томсон основал Thomson-Houston Electric Company. Помимо аппаратов контактной сварки он разрабатывает проекты дуговой системы освещения, силовые трансформаторы. В 1892 году Thomson-Houston Electric Company слилась с Edison General Electric Company, чтобы стать General Electric Company. Элиу Томсон в 1909 году стал первым лауреатом медали Эдисона. В 1916 году награждён медалью Хьюза. В 1925 году стал лауреатом Медали Франклина. В 1927 году лауреатом Медали Фарадея. За свои изобретения (всего у него их было более 700) и научные достижения он был также удостоен наград многих научных обществ, институтов и государств [75].

<sup>43</sup> **Эдисон Томас Алва** (англ. Thomas Alva Edison; 11 февраля 1847, Майлен, штат Огайо – 18 октября 1931, Вест Оранж, штат Нью-Джерси) – всемирно известный американский изобретатель и предприниматель. Эдисон получил в США 1093 патента и около 3 тысяч в других странах мира. Он усовершенствовал телеграф, телефон, киноаппаратуру, разработал один из первых коммерчески успешных вариантов электрической лампы накаливания, изобрёл фонограф. Именно он предложил использовать в начале телефонного разговора слово «алло».



В 1928 году награждён высшей наградой США Золотой медалью Конгресса. В 1930 году стал иностранным почётным членом АН СССР [76].

<sup>44</sup> **Форд Гэ́нри** (англ. Henry Ford; 30 июля 1863 – 7 апреля 1947) – американский промышленник, владелец заводов по производству автомобилей по всему миру, изобретатель, автор 161 патента США. Его лозунгом было «автомобиль для всех» – завод Форда выпускал наиболее дешёвые автомобили в начале эпохи автомобилестроения. «Ford Motor Company» существует и по сей день.



Генри Форд известен также тем, что впервые стал использовать промышленный конвейер для поточного производства автомобилей. Вопреки распространённому заблуждению, конвейер использовали и до этого, в том числе для массового производства, например на чикагских бойнях в XIX веке. Однако Генри Форд первым «поставил на конвейер» технически сложную, то есть нуждающуюся в технической поддержке на протяжении всего срока эксплуатации, продукцию – автомобиль. Книга Форда «Моя жизнь, мои достижения» является классическим произведением по научной организации труда. В 1924 году книга «Моя жизнь, мои достижения» была издана в СССР. Эта книга стала источником такого сложного политэкономического явления, как фордизм.

В 1928 году Форду вручена Медаль Эллиотта Крессона института Бенджамина Франклина за революционные достижения в автомобильной промышленности и индустриальное лидерство [77].

<sup>45</sup> **Кавендиш Гэ́нри** (англ. Henry Cavendish; 10 октября 1731 – 24 февраля 1810) – британский физик и химик, член Лондонского королевского общества (с 1760 года).

Кавендишу принадлежат несколько работ об изучении свойств электричества, написанных для Королевского общества, но большая часть его экспериментов была собрана и опубликована Джеймсом Максвеллом только век спустя в 1879 году, вскоре после того, как к тем же результатам пришли другие ученые. К открытиям Кавендиша принадлежат:

Понятие электрического потенциала, который он назвал «степенью электрификации».

Определение емкости сферы и конденсатора.

Концепция диэлектрической проницаемости материала.



Отношение между электрическим потенциалом и током, которое теперь называется законом Ома. (1781).

Законы для разделения тока в параллельных цепях, которое в настоящее время связано с именем Чарльза Уитстоуна.

Закон обратных квадратов изменения электрической силы с расстоянием, который сейчас называется законом Кулона.

Большинство научных работ Кавендиша не публиковалось вплоть до второй половины XIX века, когда Джеймс Максвелл занялся разбором архивов Кавендиша. И даже сейчас несколько ящиков, заполненных рукописями и приборами, назначение которых не поддается определению, остаются не разобранными [78].

<sup>46</sup> **Дэви Эдмунд**, (англ. Edmund Davy) (1785, Пензанс – 5 ноября 1857) – английский химик, двоюродный брат известного английского химика Гемфри Дэви.

Член Лондонского королевского общества, член Ирландской королевской академии; профессор химии Королевского института в г. Корк (Ирландия) с 1813 года, профессор химии Королевского Дублинского общества (Ирландия) с 1826 года [79].

<sup>47</sup> **Бертло Пьер Эжен Марселен** (фр. Marcellin Berthelot; 25 октября 1827, Париж – 18 марта 1907, Париж) – французский физико-химик, общественный и политический деятель. Пионер исследования кинетических реакций, один из основоположников органического синтеза и термохимии, автор работ по истории науки. Член Парижской Академии Наук (1873) и член-корреспондент Петербургской АН (1876) [80].



<sup>48</sup> **Анри Луи Ле Шателье** (фр. Henri Louis Le Chatelier; 8 октября 1850, Париж – 17 сентября 1936, Мирибель-лез-Эшель) – французский физик и химик.



В 1907 г. был избран членом Парижской академии наук.

7 декабря 1913 был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук. 4 декабря 1926 – почётным членом АН СССР[1].

Большинство работ Ле Шателъ посвящены прикладным проблемам; он был одним из первых химиков, систематически проводившим фундаментальные исследования металлургических и химико-технологических процессов. В 1881 г. совместно с М. Бергто и Ф. Малларом он занялся исследованием процессов воспламенения, горения и взрыва. Эти исследования привели его к созданию оригинального способа определения теплоемкостей газов при высоких температурах. Изучая процессы, протекающие в доменных печах, и сталкиваясь с необходимостью измерения высоких температур, Ле Шателъ в 1886 г. разработал пирометр — оптический прибор, измеряющий температуру раскаленных тел по их цвету. Он также усовершенствовал методику исследования металлов и сплавов и создал металлографический микроскоп (1897), с помощью которого можно было изучать строение непрозрачных объектов.

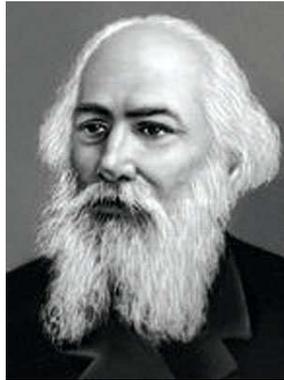
В 1884 г. Ле Шателъ сформулировал принцип динамического равновесия, ныне носящий его имя.

В 1894 г. он вывел уравнение, устанавливающее зависимость между растворимостью, температурой процесса и теплотой плавления вещества. Независимо от Ф. Габера в 1901 г. Ле Шателъ нашёл условия синтеза аммиака.

При активном участии Ле Шателъ физическая химия и химическая технология превратились в самостоятельные, активно развивающиеся области науки. Ле Шателъ был удостоен многих наград: в 1886 г. он стал кавалером ордена Почётного легиона, в 1916 г. получил медаль Дэви Лондонского королевского общества [81].

<sup>49</sup> **Линде Карл** (11.6.1842, Берндорф, – 16.11.1934, Мюнхен), немецкий физик и инженер. Получил степень доктора философии в Гёттингенском университете. В 1868–78 и 1892–1910 профессор Высшего технического училища в Мюнхене. В 1879 основал общество холодильных машин (в Висбадене). В 1895 сконструировал и построил первую промышленную установку для получения жидкого воздуха с использованием Джоуля-Томсона эффекта и усовершенствовал этот процесс введением предварительного охлаждения. В дальнейшем Л. работал над проблемой разделения на составные части смесей различных технически важных газов. В 1902 им создан, а в 1907 существенно усовершенствован непрерывно действующий ректификационный аппарат для разделения воздуха на компоненты [82].

<sup>50</sup> **Бекетов Николай Николаевич** (1 (13) января 1827, Альфёрьевка (Новая Бекетовка), Пензенская губерния – 30 ноября (13 декабря) 1911, Санкт-Петербург) – русский физико-химик, академик Петербургской АН (1886), один из основоположников физической химии и химической динамики, заложил основы принципа алюминотермии.



Бекетов открыл вытеснение металлов из растворов их солей водородом под давлением и установил, что магний и цинк при высоких температурах вытесняют другие металлы из их солей. В 1859–1865 годах показал, что при высоких температурах алюминий восстанавливает металлы из их оксидов. Позднее эти опыты послужили отправной точкой для возникновения алюминотермии.

Огромной заслугой Бекетова является развитие физической химии как самостоятельной научной и учебной дисциплины. Ещё в 1860 году в Харькове Бекетов читал курс «Отношение физических и химических явлений между собой», а в 1865 — курс «Физическая химия». В 1864 году по предложению Бекетова в университете учреждено физико-химическое отделение, на котором наряду с чтением лекций был введён практикум по физической химии и проводились физико-химические исследования. Учениками Бекетова были А. П. Эльтеков, Ф. М. Флавицкий, И. П. Осипов и другие [83].

<sup>51</sup> **Шпагин Георгий Семёнович** (17 [29] апреля 1897, дер. Ключниково, ныне Ковровского района Владимирской области – 6 февраля 1952, Москва) – советский конструктор стрелкового оружия, Герой Социалистического Труда (1945).



Одной из значительных работ конструктора явилась модернизация 12,7-мм крупнокалиберного пулемёта Дегтярёва (ДК), снятого с производства из-за выявленных недостатков. После того, как Шпагин разработал модуль ленточного питания для ДК, в 1939 году усовершенствованный пулемёт был принят на вооружение РККА под обозначением «12,7 мм крупнокалиберный пулемёт Дегтярёва – Шпагина образца 1938 года – ДШК». Массовый выпуск ДШК был начат в 1940–41 годах, и за годы Великой Отечественной войны было произведено порядка 8 тысяч пулемётов.

Наибольшую же славу конструктору принесло создание пистолета-пулемёта образца 1941 года (ППШ). Разработанный в качестве замены более дорогому и сложному в производстве ППД, ППШ стал самым массовым автоматическим оружием Красной Армии во время Великой Отечественной войны (всего за годы войны было выпущено примерно 6 141 000 штук) и состоял на вооружении до 1951 года. Этот «автомат», как его обычно называли, является одним из символов Победы над фашистской агрессией и многократно увековечен в художественных произведениях – скульптурах, живописных полотнах и др.

Во время войны Шпагин работал над организацией массового производства пистолетов-пулемётов своей системы на Вятско-Полянском машиностроительном заводе в Кировской области,

куда он был переведён в начале 1941 года, совершенствованием их конструкции и технологии производства. Кроме того, в 1943 году Георгий Семёнович разработал сигнальный пистолет СПШ [84].

<sup>52</sup> **Ольшанский Николай Александрович** (1914–1984) – доктор технических наук, профессор, известный ученый в области сварки, под его руководством осуществлена первая в нашей стране электронно-лучевая сварка.



В 1957 г. профессор Н.А. Ольшанский впервые в нашей стране начал исследования по электронно-лучевой сварке металлов. Новый метод электронно-лучевой сварки металлов большой толщины запатентован в девяти странах мира. Его работы явились основой для разработки техники и технологии электронно-лучевой сварки металлов и сплавов большой толщины, монокристаллов и поликристаллов горизонтальным или наклонным лучом, способствовали развитию новых научных направлений.

В созданной им лаборатории электронно-лучевой сварки и обработки материалов была разработана технология сварки тугоплавких, активных и редких металлов, сталей различных структурных классов, алюминиевых и титановых сплавов.

Ольшанский Н.А. награжден орденом «Красной Звезды» и медалями. В 1978 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР», а в 1982 г. он удостоен звания «Почетный доктор» Будапештского Технического университета [85].

<sup>53</sup> **Басов Николай Геннадиевич** (14 декабря 1922, город Усмань Тамбовской губернии – 1 июля 2001) – советский физик, лауреат Нобелевской премии по физике (1964). Дважды Герой Социалистического Труда (1969, 1982).

Иностраннный член Болгарской АН (1974). Депутат Совета Союза Верховного Совета СССР 9–11 созывов от Москвы.



Работы Басова посвящены квантовой электронике и её применениям. Вместе с А. М. Прохоровым он установил принцип усиления и генерации электромагнитного излучения квантовыми систе-

## *Продолжение приложения*

мами, что позволило в 1954 году создать первый квантовый генератор (мазер) на пучке молекул аммиака. В следующем году была предложена трёхуровневая схема создания инверсной населённости уровней, нашедшая широкое применение в мазерах и лазерах. Эти работы (а также исследования американского физика Ч. Таунса) легли в основу нового направления в физике — квантовой электроники. За разработку нового принципа генерации и усиления радиоволн (создание молекулярных генераторов и усилителей) Н. Г. Басов и А. М. Прохоров в 1959 году были награждены Ленинской премией, а в 1964 году им совместно с Ч. Х. Таунсом за «фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей на лазерно-мазерном принципе», была присуждена Нобелевская премия по физике.

Совместно с Ю. М. Поповым и Б. М. Вулом Басов предложил идею создания различных типов полупроводниковых лазеров: в 1962 году был создан первый инжекционный лазер, затем лазеры, возбуждаемые электронным пучком, а в 1964 году — полупроводниковые лазеры с оптической накачкой. Басов также провёл исследования по мощным газовым и химическим лазерам, под его руководством были созданы фторводородный и йодный лазеры, а затем эксимерный лазер.

Ряд работ Басова посвящён вопросам распространения и взаимодействия мощных лазерных импульсов с веществом. Ему принадлежит идея использования лазеров для управляемого термоядерного синтеза (1961), он предложил методы лазерного нагрева плазмы, проанализировал процессы стимулирования химических реакций лазерным излучением.

Басов разработал физические основы создания квантовых стандартов частоты, выдвинул идеи новых применений лазеров в оптоэлектронике (таких, как создание оптических логических элементов), выступал инициатором многих исследований по нелинейной оптике [86].

<sup>54</sup> **Прóхоров Алексáндр Михáйлович** (11 июля 1916, Атертон, штат Квинсленд, Австралия — 8 января 2002, Москва) — выдающийся советский физик, один из основоположников важнейшего направления современной физики — квантовой электроники, лауреат Нобелевской премии по физике за 1964 год (совместно с Николаем Басовым и Чарлзом Таунсом), один из изобретателей лазерных технологий.



Научные работы Прохорова посвящены радиофизике, физике ускорителей, радиоспектроскопии, квантовой электронике и её приложениям, нелинейной оптике. В первых работах он исследовал распространение радиоволн вдоль земной поверхности и в ионосфере. После войны он деятельно занялся разработкой методов стабилизации частоты радиогенераторов, что легло в основу его кандидатской диссертации. Он предложил новый режим генерации миллиметровых волн в синхротроне, установил их когерентный характер и по результатам этой работы защитил докторскую диссертацию (1951).

Разрабатывая квантовые стандарты частоты, Прохоров совместно с Н.Г. Басовым сформулировал основные принципы квантового усиления и генерации (1953), что было реализовано при создании первого квантового генератора (мазера) на аммиаке (1954). В 1955 они предложили трёхуровневую схему создания инверсной населенности уровней, нашедшую широкое применение в мазерах и лазерах. Несколько следующих лет были посвящены работе над парамагнитными усилителями

## Продолжение приложения

СВЧ-диапазона, в которых было предложено использовать ряд активных кристаллов, таких как рубин, подробное исследование свойств которого оказалось чрезвычайно полезным при создании рубинового лазера. В 1958 Прохоров предложил использовать открытый резонатор при создании квантовых генераторов. За основополагающую работу в области квантовой электроники, которая привела к созданию лазера и мазера, Прохоров и Н.Г. Басов были награждены Ленинской премией в 1959, а в 1964 совместно с Ч.Х. Таунсом – Нобелевской премией по физике.

С 1960 года Прохоров создал ряд лазеров различных типов: лазер на основе двухквантовых переходов (1963), ряд непрерывных лазеров и лазеров в ИК-области, мощный газодинамический лазер (1966). Он исследовал нелинейные эффекты, возникающие при распространении лазерного излучения в веществе: многофокусная структура волновых пучков в нелинейной среде, распространение оптических солитонов в световодах, возбуждение и диссоциация молекул под действием ИК-излучения, лазерная генерация ультразвука, управление свойствами твёрдого тела и лазерной плазмы при воздействии световыми пучками. Эти разработки нашли применение не только для промышленного производства лазеров, но и для создания систем дальней космической связи, лазерного термоядерного синтеза, волоконно-оптических линий связи и многих других.

Прохоров – автор научного открытия «Светогидравлический эффект», которое занесено в Государственный реестр открытий СССР под № 65 с приоритетом от 28 февраля 1963 года в следующей формулировке:

«Экспериментально установлено неизвестное ранее явление возникновения гидравлического ударного импульса при поглощении внутри жидкости светового луча квантового генератора».

Прохоров некоторое время занимался СВЧ-техникой, однако затем решил переключиться на лазеры и заставил коллектив подчиниться своему решению, разбив в лаборатории приборы по старой тематике. Последовавший скандал лишил коллектив половины сотрудников (уволнились), но оставшиеся начали заниматься новым для себя делом. В результате Нобелевская премия досталась именно за лазеры. [87]

<sup>55</sup> **Таунс Чарлз Хард** (англ. Charles Hard Townes; род. 28 июля 1915, Гринвилл, Южная Каролина) – американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике (1964). Член Национальной академии наук США (1956), иностранный член Российской академии наук (1994).



Основные труды Таунса посвящены радиоспектроскопии, квантовой электронике и её приложениям, нелинейной оптике, радиоастрономии. Независимо от А.М. Прохорова и Н.Г. Басова выдвинул идею нового принципа генерации и усиления электромагнитных волн и на его основе совместно с сотрудниками создал первый квантовый генератор — мазер на аммиаке (1954). В 1958 совместно с А. Шавловым обосновали и запатентовали возможность создания оптического квантового генератора (лазера). В 1964 «за фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на лазерно-мазерном принципе», Таунс совместно с Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым был удостоен Нобелевской премии по физике.

Созданные лазеры Таунс применил для высокоточной проверки эффектов теории относительности, для проведения исследований в области биологии и медицины. В области нелинейной оптики Таунс обнаружил вынужденное рассеяние Мандельштама–Бриллюэна, ввел представление о крити-

## *Продолжение приложения*

ческой мощности пучка света и явлении самофокусировки (1964), которое можно использовать в волноводной технике, экспериментально наблюдал эффект автоколлимации света (1966).

Таунс применил методы квантовой электроники и нелинейной оптики в астрофизике и совместно с другими в 1969 открыл мазерный эффект в космосе (излучение космических молекул воды на длине волны 1,35 см) [88].

<sup>56</sup> **Шо́нин Гео́ргий Степа́нович** (3 августа 1935, город Ровеньки Луганской области, Украина – 6 апреля 1997, Звёздный городок, Московская область) – советский космонавт № 17. Герой Советского Союза (22 октября 1969). Генерал-лейтенант авиации (1985). Почётный гражданин городов Вологда, Гагарин, Калуга (Россия); Балта, Одесса, Ровеньки (Украина); Караганда (Казахстан); Бричпорт (США).



11 октября – 16 октября 1969 участвовал в космическом полёте в качестве командира корабля «Союз-6» (бортинженер – Валерий Кубасов) Продолжительность полёта составила 4 суток 22 часа 42 минуты 47 секунд. Полёт проходил одновременно с полётом космических кораблей «Союз-7» и «Союз-8». Во время полёта впервые в мире были осуществлены эксперименты по проведению сварочных работ в космосе на аппаратуре, разработанной в киевском Институте электросварки имени Е.О. Патона. Также был проведён эксперимент «Факел» по обнаружению запусков баллистических ракет [89].

<sup>57</sup> **Кубасов Валерий Николаевич** (7 января 1935 – 19 февраля 2014) – советский космонавт № 18.



Первый полёт: с 11 по 16 октября 1969 года в качестве бортинженера КК «Союз-6» вместе с Г.С. Шониным. Во время полёта впервые в мире были проведены эксперименты по проведению сварочных работ в космосе на разработанной в ИЭС им. Патона аппаратуре. Позывной: «Антей-2». Продолжительность полёта: 4 суток 22 часа 42 минуты 47 секунд.

Второй полёт: с 15 по 21 июля 1975 года в качестве бортинженера КК «Союз-19» по программе ЭПАС вместе с А.А. Леоновым. В ходе полёта впервые была выполнена стыковка на орбите ко-

## Продолжение приложения

раблей разных стран – «Союз-19» (СССР) и «Аполлон» (США). Позывной: «Союз-2». Продолжительность полёта: 5 суток 22 часа 30 минут 51 секунда.

Третий полёт: с 26 мая по 3 июня 1980 года в качестве командира КК «Союз-36» по программе советско-венгерской экспедиции посещения (ЭП) ОС «Салют-6», вместе с Б. Фаркашем (ВНР). Позывной: «Орион-1». Продолжительность полёта: 7 суток 20 часов 45 минут 44 секунды [90].

<sup>58</sup> **Джанибеков Влади́мир Алекса́ндрович**, урождённый Кры́син (род. 13 мая 1942, посёлок Искандер, Южно-Казахстанская область, Казахская ССР) – лётчик-космонавт СССР (1978), дважды Герой Советского Союза (1978, 1981), генерал-майор авиации (1985). Общая продолжительность полётов – 145 суток 15 часов 58 минут 35 секунд. Общая продолжительность 2 выходов в открытый космос – 8 часов 34 минуты.



Самый опытный космонавт СССР, совершивший наибольшее число космических полётов – пять, причём все – в качестве командира корабля. Это непревзойдённый пока мировой рекорд. Даже летавшие 6 и 7 раз астронавты и космонавты этот рекорд не превзошли, а повторил его один лишь Джеймс Уэзерби, но в шестом полёте, поскольку в первом он не был командиром. Рекорд был повторён лишь через 17 лет. Больше число полётов среди отечественных космонавтов (6) совершил один Сергей Крикалёв, но уже в России, а не в СССР.

Первый полёт на корабле «Союз-27» (командир корабля) и орбитальной станции «Салют-6» (10–16 января 1978 года). Продолжительность полёта 5 суток 23 часа.

Второй полёт на корабле «Союз-39» и орбитальной станции «Салют-6» (22–30 марта 1981 года).

Третий полёт на корабле «Союз Т-6» и орбитальной станции «Салют-7» (24 июня – 2 июля 1982 года).

Четвёртый полёт в качестве командира корабля на корабле «Союз Т-12» и орбитальной станции «Салют-7» (17–29 июля 1984 года). Пребывание в открытом космосе 3 часа 35 мин.

Пятый полёт в качестве командира на корабле «Союз Т-13» и орбитальной станции «Салют-7» (6 июня – 26 сентября 1985 года). Продолжительность полёта 115 суток. Считается самым сложным с технической точки зрения полётом в истории отечественной космонавтики. После сбоя основного оборудования командной радиолинии, сбоя по питанию и выдачи неверных команд из ЦУПа станция «Салют-7» перешла в полностью неуправляемый полёт. Для восстановления контроля над станцией была отправлена экспедиция на модифицированном под эти цели корабле «Союз Т-13» в составе Джанибекова и Савиных. С корабля демонтировали систему автоматической стыковки и кресло третьего космонавта, были улучшены средства визуального наблюдения для осуществления ручной стыковки: на иллюминатор справа от командира корабля установили лазерный дальномер и прибор ночного видения, размещены дополнительные запасы воды, питания и кислорода. Подвод корабля к станции был осуществлён при участии наземных и космических средств системы ПРО, что доказало, в том числе, принципиальную возможность взаимодействия с любыми космическими объектами. В ходе полёта им был неожиданно для него самого обнаружен эффект вращения тела, закрученное вокруг оси, которая не совпадает с главными осями инерции в невесомости. «Эффект Джанибекова» не являлся открытием, а всего лишь демонстрацией, которая наиболее эффективна в условиях невесо-

мости. Сложное вращение математически описано впервые в теореме вращения Леонарда Эйлера в 1775 г. [91]

<sup>59</sup> **Сави́цкая Светла́на Евге́ньевна** (род. 8 августа 1948 года, Москва, СССР) – советский космонавт, вторая женщина-космонавт в мире и первая в мире женщина-космонавт, вышедшая в открытый космос. Депутат Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации III, IV, V, VI созывов от КПРФ, заместитель председателя комитета Госдумы по обороне.



Заслуженный мастер спорта СССР (1970). Лётчик-космонавт СССР (1982). Дважды Герой Советского Союза.

В 1982 году в качестве космонавта-исследователя совершила полёт на кораблях «Союз Т-5», «Союз Т-7» и орбитальной станции «Салют-7».

В 1984 году в качестве бортинженера совершила полет на «Союз Т-12» и орбитальной станции «Салют-7». Во время полёта первой из женщин совершила выход в открытый космос.

Готовилась к полёту на станцию «Салют-7» в 1986 г. «Союз Т-15С» в качестве командира первого в мире полностью женского экипажа (три женщины-космонавта), но этот полёт не состоялся [92].

<sup>60</sup> **Кизи́м Леони́д Дени́сович** (5 августа 1941, Красный Лиман, Сталинская область, Украинская ССР – 14 июня 2010, Москва) – советский космонавт, дважды Герой Советского Союза, генерал-полковник.



Первый полёт в космос совершил на космическом корабле «Союз Т-3» в качестве командира корабля. В экипаж также входили Олег Григорьевич Макаров и Геннадий Михайлович Стрекалов. Полёт проходил с 27 октября по 10 ноября 1980 года. За время полёта экипажем был выполнен комплекс ремонтных работ на борту станции «Салют-6». Общая продолжительность пребывания в космосе составила 12 дней 19 часов 7 минут и 42 секунды.

Второй полёт в космос совершил на космическом корабле «Союз Т-10» в качестве командира корабля. В экипаж также входили Владимир Алексеевич Соловьёв и Олег Юрьевич Атьков. Полёт

### *Продолжение приложения*

проходил с 8 февраля по 2 октября 1984 года. Во время полёта, в течение 237 дней работал на борту станции «Салют-7». Принимал на борту станции две экспедиции: советско-индийскую в составе Геннадия Михайловича Стрекалова, Юрия Васильевича Малышева и индийского космонавта Ракеша Шармы, а также экипаж космического корабля «Союз Т-12» – Игоря Петровича Волка, Владимира Александровича Джанибекова, Светлану Евгеньевну Савицкую. Во время работы на станции сделал шесть выходов в открытый космос (совместно с Владимиром Соловьёвым). Вернулся на Землю на космическом корабле «Союз Т-11». Общая продолжительность второго полёта составила 236 дней 22 часа и 49 минут, общая продолжительность пребывания в открытом космосе – 22 часа 50 минут.

Третий полёт совершил на космическом корабле «Союз Т-15» в качестве командира корабля. В экипаж также входил Владимир Соловьёв. Полёт проходил с 13 марта по 16 июля 1986 года. Во время полёта принимал участие в работах на орбитальных станциях «Салют-7» и «Мир». Общая продолжительность третьего полёта составила 125 дней и 56 секунд [93].

<sup>61</sup> **Соловьёв Владимир Алексеевич** – космонавт-испытатель НПО "Энергия", лётчик-космонавт СССР № 56.



Совершил 2 полёта в космос в качестве бортинженера.

Первый – с 8 февраля по 2 октября 1984 года на КК "Союз Т-10" и ОС "Салют-7" совместно с командиром экипажа Л.Д. Кизимом и космонавтом-исследователем О.Ю. Атьковым. В ходе 237-суточного полёта экипаж выполнил большой объём научно-технических и медико-биологических исследований и экспериментов. В.А. Соловьёв и Л.Д. Кизим совершили шесть выходов в космос общей продолжительностью 22 часа 50 минут, выполнив сложные и многоступенчатые монтажные работы. На борту ОС побывали 2 экспедиции посещения, в том числе с участием гражданина Республики Индия Ракеша Шармы.

Второй полёт в космос В.А. Соловьёв совершил с 13 марта по 16 июля 1986 года вместе с Л.Д. Кизимом на КК "Союз Т-15". За время полёта он работал на борту орбитальных станций "Салют-7" и "Мир". Впервые в мире были совершены два межорбитальных перелёта с борта одной орбитальной станции на борт другой. Во время пребывания на борту станции "Салют-7" Соловьёв В.А. совершил два выхода в открытый космос общей продолжительностью 8 часов 50 минут.

За 2 космических рейса В.А. Соловьёв налетал 361 сутки 22 часа 49 минут 56 секунд, совершил 8 выходов в открытый космос [94].

## Список литературы

1. Сварка вчера, сегодня, завтра... (введение в специальность) / М.П. Шалимов, В.И. Панов; Уральский государственный технический университет-УПИ / под ред. В.В. Запарий. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2006. – 226 с.
2. Сварка в СССР. Том 1. Развитие сварочной технологии и науки о сварке. Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. – М.: Наука, 1981. – 536 с.
3. Корниенко А.Н. У истоков «электрогефеста». – М.: Машиностроение, 1987. – 168 с.
4. Патон Б.Е., Корниенко А.Н. Огонь сшивает металл. – М.: Педагогика, 1988, – 144 с.
5. Железная колонна в Дели – Википедия // <http://ru.wikipedia.org/>
6. Учебное пособие: История и развитие сварочного производства – BestReferat.ru // <http://bestreferat.ru/referat-147402.html>
7. Славянов Н.Г. Труды и изобретения / Славянов Н.Г. – Пермь: Кн. изд-во, 1988. – 296 с.
8. Пермский областной краеведческий музей – Коллекции музея // <http://museum.perm.ru/collection/9>
9. 150-летию Н.Г. Славянова // <http://weld.pfo-perm.ru/>
10. Корниенко А.Н. История сварки. XV – середина XX ст. / Корниенко А.Н. – К.: Феникс, 2004. – 212 с.
11. Литвинов А.П. Развитие сварки в инертных газах (обзор) // Автоматическая сварка. – 2009. – №3. – С. 39–44.
12. Бродский А.Я. Аргодуговая сварка металлов малых толщин // Автогенное дело. – 1948. – №10. – С. 11–17.
13. Рабкин Д.М. Новый способ автоматической сварки алюминия // Автоматическая сварка. – 1953. – №4. – С 45–50.
14. Плазматрон. Технология плазменной плавки, плавления, напыления. Плазменное получение порошков. // [http://www.eti.su/articles/electrotehnika/electrotehnika\\_888.html](http://www.eti.su/articles/electrotehnika/electrotehnika_888.html)
15. История стыковой сварки. «Электрическая ковка». // <http://k-svarka.com/content/istoriia-stykovoi-svarki-eliektrichieskaia-kovka>.
16. Создание и внедрение в промышленность нашей страны оборудования для стыковой контактной сварки. // <http://k-svarka.com/content/sozdaniie-i-vniedrieniie-v-promyshlienost-nashiei-strany-oborudovaniia-dlia-stykovoi-kontakt>
17. Основные этапы создания и выпуска оборудования для точечной, шовной и рельефной контактной сварки в нашей стране. // <http://k-svarka.com/content/etapi-sozdaniia-i-vypuska-oborudovaniia-dlia-tochechnoi-shovnoi-i-reliefnoi-kontaktnoi-svarki-v-nashiei-strane>.

svarka.com/content/osnovnyie-etapy-sozdaniia-i-vypuska-oborudovaniia-dlia-tochiehnoi-shovnoi-i-riel-iefnoi-kon

18. «Автогенная обработка». Термитная сварка. История развития. // <http://www.unews.com.ua/history/avtogenaja/>

19. Лихачев В.Л. Электросварка. Справочник. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 672 с.

20. Корниенко А.Н. Сварочная техника в годы второй мировой войны // Автоматическая сварка. – 1997. – №7 – С. 42–51.

21. Сварка. Введение в специальность / под общей ред. В.А. Фролова. – М.: Машиностроение, 2005. – 327 с

22. Зорин Е.Е., Худолий Н.Г. Сварка. Введение в специальность. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 232 с.

23. Сварка взрывом // <http://build.novosibdom.ru/node/279>

24. Сварка трением и ее практическое применение // <http://www.kzeso.com/ru/biblioteque/detail.php?ID=7859>

25. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 1 / под ред. Н.А. Ольшанского. 1978. – 504 с

26. Мусин Р.А., Конюшков Г.В. Специальные методы сварки давлением. – («Высшее образование») (ГРИФ) / Конюшков Г.В., Мусин Р.А. – М.: Ай Пи Эр Медиа, Гарант. 2009. – 632 с.

27. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов // Хренов К.К. – М.: Машгиз. 1952. – 386 с.

28. Бернадский В.Н. (в соавторстве с Патоном Б.Е., Дудко Д.А., Загребельным А.А., Лапчинским В.Ф.). О возможности ручной электронно-лучевой сварки в космосе // Космическое материаловедение и технологии.–1977.– «НАУКА» – М. – С. 17–22.

29. Бондарев А.А., Лапчинский В.Ф., Лозовская А.В. и др. Исследование структуры и распределения элементов в сварных соединениях, выполненных электронным лучом на сплавах 1201 и Ам-Г6 в условиях невесомости. – М.: Наука, 1978.

30. Патон Б.Е., Дудко Д.А., Бернадский В.Н. Применение сварки для ремонта сварных космических объектов. – Киев: Наук.думка, 1976.

31. Патон Б.Е., Кубасов В.Н. Эксперимент по сварке в космосе. // Автоматическая сварка, 1970, № 5.

32. Патон Б.Е., Патон В.Е., Дудко Д.А. и др. Космические исследования на Украине. – Киев: Наук.думка, 1973.

33. Гильберт, Уильям – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Гильберт,\\_Уильям](http://ru.wikipedia.org/wiki/Гильберт,_Уильям)

34. Герике, Отто фон – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Герике,\\_Отто\\_фон](http://ru.wikipedia.org/wiki/Герике,_Отто_фон)

35. Мушенбрук, Питер ван – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Мушенбрук,\\_Питер\\_ван](http://ru.wikipedia.org/wiki/Мушенбрук,_Питер_ван)
36. Ломоносов, Михаил Васильевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ломоносов,\\_Михаил\\_Васильевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ломоносов,_Михаил_Васильевич)
37. Рихман, Георг Вильгельм – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Рихман,\\_Георг](http://ru.wikipedia.org/wiki/Рихман,_Георг)
38. Вольта, Алессандро – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Вольта,\\_Алессандро](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вольта,_Алессандро)
39. Петров, Василий Владимирович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Петров,\\_Василий\\_Владимирович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Петров,_Василий_Владимирович)
40. Дэви, Гемфри – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Дэви,\\_Гемфри](http://ru.wikipedia.org/wiki/Дэви,_Гемфри)
41. Чилдрен, Джон Джордж – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Чилдрен,\\_Джон\\_Джордж](http://ru.wikipedia.org/wiki/Чилдрен,_Джон_Джордж)
42. Эрстед, Ханс Кристиан – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Эрстед,\\_Ханс\\_Кристиан](http://ru.wikipedia.org/wiki/Эрстед,_Ханс_Кристиан)
43. Араго, Франсуа Жан Доминик – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Араго,\\_Франсуа\\_Жан\\_Доминик](http://ru.wikipedia.org/wiki/Араго,_Франсуа_Жан_Доминик)
44. Ампер, Андре Мари – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ампер,\\_Андре\\_Мари](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ампер,_Андре_Мари)
45. Фарадей, Майкл – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Фарадей,\\_Майкл](http://ru.wikipedia.org/wiki/Фарадей,_Майкл)
46. Максвелл, Джеймс Клерк – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Максвелл,\\_Джеймс\\_Клерк](http://ru.wikipedia.org/wiki/Максвелл,_Джеймс_Клерк)
47. Якоби, Борис Семёнович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Якоби,\\_Борис\\_Семёнович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Якоби,_Борис_Семёнович)
48. Ленц, Эмилий Христианович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ленц,\\_Эмилий\\_Христианович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ленц,_Эмилий_Христианович)
49. Лачинов, Дмитрий Александрович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Лачинов,\\_Дмитрий\\_Александрович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Лачинов,_Дмитрий_Александрович)
50. Яблочков, Павел Николаевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Яблочков,\\_Павел\\_Николаевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Яблочков,_Павел_Николаевич)
51. Чиколев, Владимир Николаевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Чиколев,\\_Владимир\\_Николаевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Чиколев,_Владимир_Николаевич)
52. Бенардос, Николай Николаевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Бенардос,\\_Николай\\_Николаевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Бенардос,_Николай_Николаевич)
53. Славянов Николай Гаврилович – изобретатель дуговой электро-  
сварки – Люди и биографии // [http://www.biografii.ru/biogr\\_dop/slavyanov\\_n\\_g/slavyanov\\_n\\_g.php](http://www.biografii.ru/biogr_dop/slavyanov_n_g/slavyanov_n_g.php)
54. Дульчевский Дмитрий Антонович – Биография.ру // <http://www.biografija.ru/biography/dulchevskij-dmitrij-antonovich.htm>

55. Сварочный электрод – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сварочный\\_электрод](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сварочный_электрод)
56. Вестингауз, Джордж – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Вестингауз,\\_Джордж](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вестингауз,_Джордж)
57. Миткевич, Владимир Фёдорович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Миткевич,\\_Владимир\\_Фёдорович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Миткевич,_Владимир_Фёдорович)
58. Патон, Евгений Оскарович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Патон,\\_Евгений\\_Оскарович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Патон,_Евгений_Оскарович)
59. Герой Соц.Труда Патон Евгений Оскарович – Герои страны // [http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero\\_id=9143](http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=9143)
60. Вологдин, Виктор Петрович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Вологдин,\\_Виктор\\_Петрович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вологдин,_Виктор_Петрович)
61. Николаев, Георгий Александрович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Николаев,\\_Георгий\\_Александрович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Николаев,_Георгий_Александрович)
62. Михайлов Григорий Петрович – Свободная энциклопедия Урала // [http://энциклопедия-урала.рф/index.php/Михайлов\\_Григорий\\_Петрович](http://энциклопедия-урала.рф/index.php/Михайлов_Григорий_Петрович)
63. Патон, Борис Евгеньевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Патон,\\_Борис\\_Евгеньевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Патон,_Борис_Евгеньевич)
64. Гиббс, Джозайя Уиллард – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Гиббс,\\_Джозайя\\_Уиллард](http://ru.wikipedia.org/wiki/Гиббс,_Джозайя_Уиллард)
65. Хренов, Константин Константинович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Хренов,\\_Константин\\_Константинович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Хренов,_Константин_Константинович)
66. Ленгмюр, Ирвинг – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ленгмюр,\\_Ирвинг](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ленгмюр,_Ирвинг)
67. Рыкалин Николай Николаевич – БСЭ – Яндекс.Словари // <http://slovari.yandex.ru/Рыкалин%20Николай%20Николаевич/БСЭ/Рыкалин%20Николай%20Николаевич/>
68. Игорь Константинович Походня – СпецЭлектрод // [http://www.spetsselectrode.ru/download/stat147\\_2.htm](http://www.spetsselectrode.ru/download/stat147_2.htm)
69. Медовар, Борис Израилевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Медовар,\\_Борис\\_Израилевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Медовар,_Борис_Израилевич)
70. Патон, Владимир Евгеньевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Патон,\\_Владимир\\_Евгеньевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Патон,_Владимир_Евгеньевич)
71. Радченко, Василий Григорьевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Радченко,\\_Василий\\_Григорьевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Радченко,_Василий_Григорьевич)
72. Тенар, Луи Жак – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Тенар,\\_Луи\\_Жак](http://ru.wikipedia.org/wiki/Тенар,_Луи_Жак)
73. Джоуль, Джеймс – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Джоуль,\\_Джеймс](http://ru.wikipedia.org/wiki/Джоуль,_Джеймс)
74. Томсон, Уильям (лорд Кельвин) – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Томсон,\\_Уильям\\_\(лорд\\_Кельвин\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Томсон,_Уильям_(лорд_Кельвин))

75. Томсон, Элиу – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Томсон,\\_Элиу](http://ru.wikipedia.org/wiki/Томсон,_Элиу)
76. Эдисон, Томас Алва – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Эдисон,\\_Томас\\_Алва](http://ru.wikipedia.org/wiki/Эдисон,_Томас_Алва)
77. Форд, Генри – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Форд,\\_Генри](http://ru.wikipedia.org/wiki/Форд,_Генри)
78. Кавендиш, Генри – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Кавендиш,\\_Генри](http://ru.wikipedia.org/wiki/Кавендиш,_Генри)
79. Дэви, Эдмунд – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Дэви,\\_Эдмунд](http://ru.wikipedia.org/wiki/Дэви,_Эдмунд)
80. Берто, Марселен – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Берто,\\_Марселен](http://ru.wikipedia.org/wiki/Берто,_Марселен)
81. Ле Шателье, Анри Луи – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ле\\_Шателье,\\_Анри\\_Луи](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ле_Шателье,_Анри_Луи)
82. Линде Карл – Академик // <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/103701>
83. Бекетов, Николай Николаевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Бекетов,\\_Николай\\_Николаевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Бекетов,_Николай_Николаевич)
84. Шпагин, Георгий Семёнович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Шпагин,\\_Георгий\\_Семёнович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Шпагин,_Георгий_Семёнович)
85. Ольшанский Николай Александрович – Портал МЭИ – <http://www.mpei.ru/lang/rus/main/aboutuniversity/science/scienceschools/heatp oweng/ollshanskijna.asp>
86. Басов, Николай Геннадиевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Басов,\\_Николай\\_Геннадиевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Басов,_Николай_Геннадиевич)
87. Прохоров, Александр Михайлович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Прохоров,\\_Александр\\_Михайлович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Прохоров,_Александр_Михайлович)
88. Таунс, Чарлз Хард – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Таунс,\\_Чарлз\\_Хард](http://ru.wikipedia.org/wiki/Таунс,_Чарлз_Хард)
89. Шонин, Георгий Степанович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Шонин,\\_Георгий\\_Степанович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Шонин,_Георгий_Степанович)
90. Кубасов, Валерий Николаевич – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Кубасов,\\_Валерий\\_Николаевич](http://ru.wikipedia.org/wiki/Кубасов,_Валерий_Николаевич)
91. Джанибеков, Владимир Александрович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Джанибеков,\\_Владимир\\_Александрович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Джанибеков,_Владимир_Александрович)
92. Савицкая, Светлана Евгеньевна – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Савицкая,\\_Светлана\\_Евгеньевна](http://ru.wikipedia.org/wiki/Савицкая,_Светлана_Евгеньевна)
93. Кизим, Леонид Денисович – Википедия // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Кизим,\\_Леонид\\_Денисович](http://ru.wikipedia.org/wiki/Кизим,_Леонид_Денисович)
94. Дважды Герой Советского Союза Соловьёв Владимир Алексеевич – Герои страны // [http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero\\_id=1315](http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=1315)

Учебное издание

# ИСТОРИЯ СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

*Автор-составитель*

ТОМАС Константин Иосипович

Научный редактор *кандидат технических наук,  
доцент Е.А. Зернин*

Редактор *Т.В. Казанцева*  
Компьютерная верстка *К.И. Томас*  
Дизайн обложки *Т.В. Буланова*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 05.06.2014. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 12,39. Уч.-изд. л. 11,20.  
Заказ 467-14. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)