

**СЛОВО  
О  
СЛАВЯНОВЕ**





# **Слово о Славянове**

**К 125-летию изобретения Н.Г. Славяновым  
электрической сварки плавящимся электродом**

Пермь 2013

**Слово о Славянове: (К 125-летию изобретения Н.Г. Славяновым электрической сварки плавящимся электродом).**  
Сборник. – Пермь, 2013. – 120 с., ил.

В книгу, посвященную юбилею изобретения Н.Г. Славяновым способа сварки металлическим плавящимся электродом, вошли очерки о жизни и творчестве выдающегося российского изобретателя и ученого, об истории изучения электродуговых процессов, о многообразии способов сварки в современной промышленности.

## ИНЖЕНЕР, ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, УЧЕНЫЙ

«Я имею самое глубокое и искреннее убеждение, что командирование Славянова за границу, при его поистине замечательных способностях, познаниях и даровитости, при глубокой его наблюдательности и основательности сторицею вознаградит расходы казны, сопряженные с его командированием, сохранив для службы этого замечательного инженера, которого я признаю одним из самых выдающихся русских горных инженеров», – так писал Горный начальник Пермских пушечных заводов А.М. Афросимов в 1885 году в своем рапорте Горному департаменту, ходатайствуя о командировании за рубеж молодого управителя механических фабрик Н.Г. Славянова. И Николай Гаврилович подтвердил правоту этой блестящей характеристики результатами своей дальнейшей успешной производственной и научной деятельности.

Николай Гаврилович Славянов родился 5 мая 1854 года в обедневшей дворянской семье в селе Никольское Задонского уезда Воронежской губернии. Его отец Гавриил Николаевич Славянов (1825–1868), так же как и дед, был военным. В 1851 году он вышел в отставку в чине штабс-капитана и в 1853 году женился на дочери курского помещика Софии Алексеевны Шаховской. В семье было 8 сыновей и 3 дочери. Старший сын Николай после окончания Воронежской гимназии поступил в Петербургский горный институт. К тому времени его отец умер, имущественное положение семьи значительно ухудшилось, имение было заложено, и Н.Г. Славянов в студенческие годы должен был жить на стипендию и частными уроками.

В июне 1877 года Н.Г. Славянов окончил Горный институт по горному разряду, получив «звание Горного инженера с правом при вступлении на службу на чин Коллежского Секретаря». Поскольку он был стипендиатом института, то был направлен на Воткинский горный завод, который наряду с Пермскими пушечными входил в Уральские казенные горные заводы Горного департамента

Перед отъездом на место работы, осенью 1877 года, Н.Г. Славянов женился на Варваре Васильевне (1855–1923), дочери отставного полковника Ольдерогге. В семье Славяновых родились три сына: Николай (1878–1958), Александр (1880–1960), Василий (1883–1917) и дочь Людмила (1891–1921).

Воткинский горный завод, основанный в 1759 году, был одним из известных крупных заводов России, выполнявшим заказы армии и флота на поставку железа и железных изделий, заказы Министерства путей со-



*Николай Гаврилович Славянов.*

общения на изготовление паровозов, рельсов. Кроме того, на заводе изготавливались земледельческие орудия и механизмы.

По распоряжению главного начальника Уральских горных заводов от 22 июня 1877 года Н.Г. Славянов назначается инженером для практических занятий на 1 год. И уже с 1 мая 1878 года его определяют смотрителем механического и токарного цехов. С 1 июня 1880 года Н.Г. Славянов получает отпуск на 2 месяца для лечения в г. Гапсале (ныне г. Хаапсалу в Эстонии) и для поездки в Воронежскую губернию по домашним обстоятельствам. Кроме того, ему было поручено ознакомиться с Путиловским, Колпинским и другими заводами.

В течение четырех лет работы на Воткинском заводе Н.Г. Славянов не только занимался усовершенствованием машин и механизмов, но также приступил к разработке проекта устройства электрической станции. Но 23 октября 1881 года приказом по Горному департаменту Н.Г. Славянов был переведен на частные Омутнинские заводы братьев Пастуховых (ныне Кировская область) на должность инженера для технических занятий. Согласие на перевод, вероятно, объясняется тем, что в это время директором заводов был друг Н.Г. Славянова – П.М. Карпинский. В состав Омутнинских входило несколько чугуноплавильных и железоделательных заводов, старых и отдаленно расположенных друг от друга. Все попытки молодого и энергичного инженера модернизировать производство не поддерживались собственниками заводов, так как при наличии очень дешевой рабочей силы они и так получали огромную прибыль. И, по существу, деятельность Н.Г. Славянова сводилась к поддержанию в рабочем состоянии устаревшего и изношенного оборудования.

На Омутнинских заводах Н.Г. Славянов проработал два года и был приглашен на службу на Пермские пушечные заводы тогдашним Горным начальником (директором) А.М. Афросимовым, высоко оценившим успешную работу Н.Г. Славянова на Воткинском заводе.

22 ноября 1883 года Н.Г. Славянов был назначен на должность управителя механических фабрик, но приступил к работе из-за болезни только 2 февраля 1884 года.

Вся его дальнейшая деятельность связана с Пермскими пушечными заводами. С 13 февраля 1890 года он был назначен помощником Горного начальника, 16 июля 1891 года – исправляющим должность Горного начальника и 17 января 1893 года утвержден Горным начальником заводов.

Пермские пушечные заводы наряду с Обуховским занимались изготовлением предметов вооружения армии и флота и были одними из крупнейших в дореволюционной России по технической оснащенности и квалификации персонала. Заводы принадлежали правительству и находились в ведении Министерства земледелия и государственных иму-

ществ Горного департамента. По сути, это был один завод, основанный в 1871 году на базе двух заводов: сталепушечного (1863 г.) и чугунопушечного (1864 г.). В связи с подготовкой к производству орудий крупных калибров (11 дюймов) на заводе в 1875 году был построен по проекту и под руководством горного инженера Н.Н. Воронцова 50-тонный паровой молот, крупнейший в тогдашней России. Кроме того, в тот же период была освоена выплавка тигельной стали в регенеративных печах Сименса, начались работы по выплавке мартеновской стали. И если до 1879 года производились только чугунные орудия, то начиная с этого времени, завод перешел на изготовление стальных пушек средних и крупных калибров. С самого основания на заводе также изготавливались артиллерийские снаряды: сначала только чугунные, а с 1886 года – и стальные разных калибров. К примеру, в проспекте Всероссийской промышленной и художественной выставки 1896 года в Нижнем Новгороде отмечено, что Пермские пушечные заводы выпускают 40 различных видов снарядов и являются единственными в России, изготавливающими наиболее сложные в производстве бронебойные снаряды. При возможности принимали также заказы от частных лиц на изготовление различных машинных частей, а также котельного, корабельного и сортового железа и инструментальной стали.

Успешная деятельность Н.Г. Славянова на Уральских горных заводах была оценена, и в 1885 году он был награжден за «отлично-усердную службу орденом Св. Станислава III степени». С 28 мая по 28 сентября 1885 года Н.Г. Славянов был командирован в Бельгию и Германию сроком на четыре месяца для ознакомления с производством на металлургических и машиностроительных заводах общества «Кокериль» и орудийных заводах Круппа в Виттене на Руре и в Бохуме, а также для осмотра выставок: Всемирной в Антверпене и Электрической в Кенигсберге. В своем рапорте Горный начальник А.М. Афросимов не только отмечает выдающиеся способности Н.Г. Славянова, но и особо подчеркивает самостоятельное изучение им электротехники, нужной «при предполагаемом освещении электричеством механических фабрик Пермских заводов». Он также пишет о необходимости радикального лечения Н.Г. Славянова и обращается с просьбой материального содействия ему, так как «Славянов имеет большое семейство, притом собственными средствами не располагает».

С самого начала своей деятельности на Пермских заводах Н.Г. Славянов занимался исследовательскими и проектными работами. Наряду с решением конкретных производственных задач, направленных на своевременное и качественное выполнение заказов Артиллерийского и Морского ведомств, он участвовал в создании новых марок стали и одно-



временно разрабатывал проект электрического освещения завода. Так, в начале 1886 года были начаты опыты по изготовлению стальных закаленных снарядов. В июне и августе снаряды были успешно испытаны сначала на Пермском заводе, а затем на Охтинском полигоне в Петербурге.

В отчете завода за 1893 год, представленном Артиллерийскому комитету, сообщается об опытах, связанных с изготовлением литых 9-дюймовых фугасных бомб для береговых мортир, бронебойных снарядов. Исследованием свойств никелевой стали, «представляющем действительно громадный современный интерес, завод занялся систематически и предполагает сплавы стали с никелем изучить в различных отношениях и вполне обстоятельно». В 1897 году в ответ на свою просьбу Н.Г. Славянов получает разрешение Горного департамента на напечатание в Горном журнале статьи о завершении опытов по изучению никелевой и никелево-кремнистой стали, но статья (по-видимому, в связи с болезнью) не была им опубликована.

В 1887 году на Сибирско-Уральской научно-промышленной выставке в Екатеринбурге, устроенной Уральским обществом любителей естествознания, были представлены изделия Пермских пушечных заводов и изобретения Н.Г. Славянова в области электротехники. Завод получил золотую медаль Уральского общества любителей естествознания и бронзовую медаль императорского Русского технического общества. Н.Г. Славянов в работе выставки с 30 июня по 13 июля принимал участие в качестве эксперта. Он был награжден большой серебряной медалью Министерства финансов «За усовершенствование и изобретение различных деталей динамо-электрических машин и за очень хорошие качества измерительных приборов электрических машин».

В 1887 году проект электрического освещения, разработанный Н.Г. Славяновым, был реализован. Построенная электростанция № 1 с динамо-машиной (устаревшее название электрического генератора постоянного тока) на 300 ампер при 60 вольтах с паровым двигателем в 150 сил осветила Пермские заводы одними из первых в России. Следует отметить, что улицы Перми были освещены позднее: с 29 января 1902 года – главная (Сибирская) и к 1913 году все улицы, за исключением окраин.

Электростанция явилась технической базой для двух дальнейших изобретений Н.Г. Славянова, разработанных им почти одновременно. Эти изобретения были связаны с практическим применением электричества в машиностроительном и металлургическом производствах, и именно они принесли Н.Г. Славянову мировую известность.

О выделении тепла при прохождении электрического тока через проводник и при горении электрической дуги было известно со времени открытия электрической дуги и изучения ее свойств. Это было выполне-



*Электрическая машина №1.*



*Электростанция, построенная по проекту Н.Г. Славянова.*

но независимо друг от друга примерно в один период времени русским ученым В.В. Петровым (1802 г.) и английским Г. Дэви (1808–1809). Но только в начале 1890-х годов появились изобретения, предлагавшие практическое использование этого явления при плавлении металлов. Так, в 1880 году Э. Сименс, известный немецкий электротехник и промышленник, разработал способ плавления металлов с помощью электрической дуги, горящей между угольным электродом и тиглем, в котором помещались куски расплавляемого металла.

А в августе 1881 года талантливый русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос (1842–1905), на счету которого около 200 оригинальных изобретений и проектов в самых различных областях: электротехнике, транспорте и других, – продемонстрировал первое практическое применение электрической дуги для сварки пластин из свинца и других металлов. Будучи в это время представителем товарищества П.Н. Яблочкова на Международной выставке в Париже, он принимал участие в подготовке экспозиции. Для соединения свинцовых пластин и электрических контактов аккумуляторных батарей Н.Н. Бенардос применил электрическую дугу, горящую между угольным электродом и изделием.

Н.Н. Бенардос 6 июля 1885 года обратился в Департамент торговли и мануфактур России и в октябре 1886 года получил привилегию на «способ прочного сцепления металлических частей и их разъединения непосредственным воздействием электрического тока». В 1885 году ему были выданы патенты во Франции, Бельгии, Великобритании, Германии, Швеции, в 1887 году – в Италии, США и других странах.

В русской привилегии № 11982 указывалось, что «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 подводимого к этому месту рукояткою, содержащей другой электрод, соединенный с соответственным полюсом электрического тока». При этом в описании сущности изобретения отмечается, что «вольтова дуга возбуждается приближением угля (или другого проводящего тела, на то пригодного) к обрабатываемой части, причем он будет положительным или отрицательным полюсом, а другим полюсом будет обрабатываемая деталь... Угли или тела, заменяющие его, могут иметь различные формы». Способ, названный «электрогефестом», рекомендовался для соединения частей между собою, разъединения, разрезывания частей, сверления или образования отверстий и полостей, наплавления слоями. И для всех случаев разработанные приборы предусматривали применение только неплавящегося угольного электрода.

Широкому распространению способа сварки Н.Н. Бенардоса способствовало созданное в 1885 году в Петербурге товарищество «Электрогефест», которое занималось внедрением сварки в промышленном производстве России и за рубежом.

Оценив возможности «электрогефеста» Н.Н. Бенардоса и, вероятно, применив этот способ сварки на Пермских заводах, Н.Г. Славянов как металлург-практик не мог не увидеть его недостатки, связанные прежде всего с науглероживанием расплавляемого металла и взаимодействием его с окружающим воздухом. К тому же в обширных публикациях 1887/88 годов, сообщавших о достоинствах и различных областях применения «электрогефеста», были и сообщения о неудачах.

В 1888 году Н.Г. Славянов разрабатывает способ сварки, в котором угольный электрод заменяет на металлический, защищает расплавленный металл флюсом (битым стеклом), вводит легирующие элементы в сварочную ванну и предварительно подогревает детали. Вместо громоздкой аккумуляторной батареи Н.Н. Бенардоса он применяет имеющуюся на заводе динамо-машину, при этом вносит в ее конструкцию необходимые изменения и создает первый в мире сварочный генератор (подлинный экземпляр хранится в Политехническом музее в Москве). Но замена угольного электрода на металлический плавящийся привела к резкому снижению устойчивости горения электрической дуги, так как в зоне дуги образовывались пары электродного металла. Н.Г. Славянов справедливо полагал, что в этом случае вести процесс вручную невозможно и для поддержания постоянства длины дуги разработал электротехническое устройство, названное им «электроплавильник» и являющееся по существу первым в мире сварочным полуавтоматом.

В то время термин «сварка» применялся для обозначения кузнечной сварки, известной с древнейших времен и основанной на нагреве и проковке изделия в твердом состоянии. Н.Г. Славянов, желая подчеркнуть кардинальное отличие созданного им способа – это расплавление электродного металла и некоторой части изделия теплом электрической дуги, – называет его «электроотливкой».

В октябре 1888 года разработанный Н.Г. Славяновым способ был публично испытан при сварке коленчатого вала паровой машины. На заводе был организован сварочный цех (так называемая «электролитейная фабрика»), и с 1889 года велась «Ведомость о работах, произведенных с помощью электрической отливки горного инженера Славянова в Пермских пушечных заводах». К ведомости обязательно прилагались акты о качестве выполненных работ после эксплуатации изделий. Следовательно, с 1889 года из опытного лабораторного метода «электрическая отливка» стала промышленным способом, прежде всего ремонта самых разнообраз-

ных изделий. Из наиболее интересных работ, произведенных в 1889–1891 годах, следует отметить такие, как восстановление зубьев зубчатых колес от токарных станков, кулисы от типографского станка, сломанной на три части, наплавка гребного вала парохода.

Для часто повторявшихся работ применялись специальные станки. Например, Н.Г. Славянов сконструировал станок для изготовления паропроводных труб из красной меди, в котором электроплавильник подвешивался неподвижно, а труба передвигалась вдоль своей оси при помощи рейки.

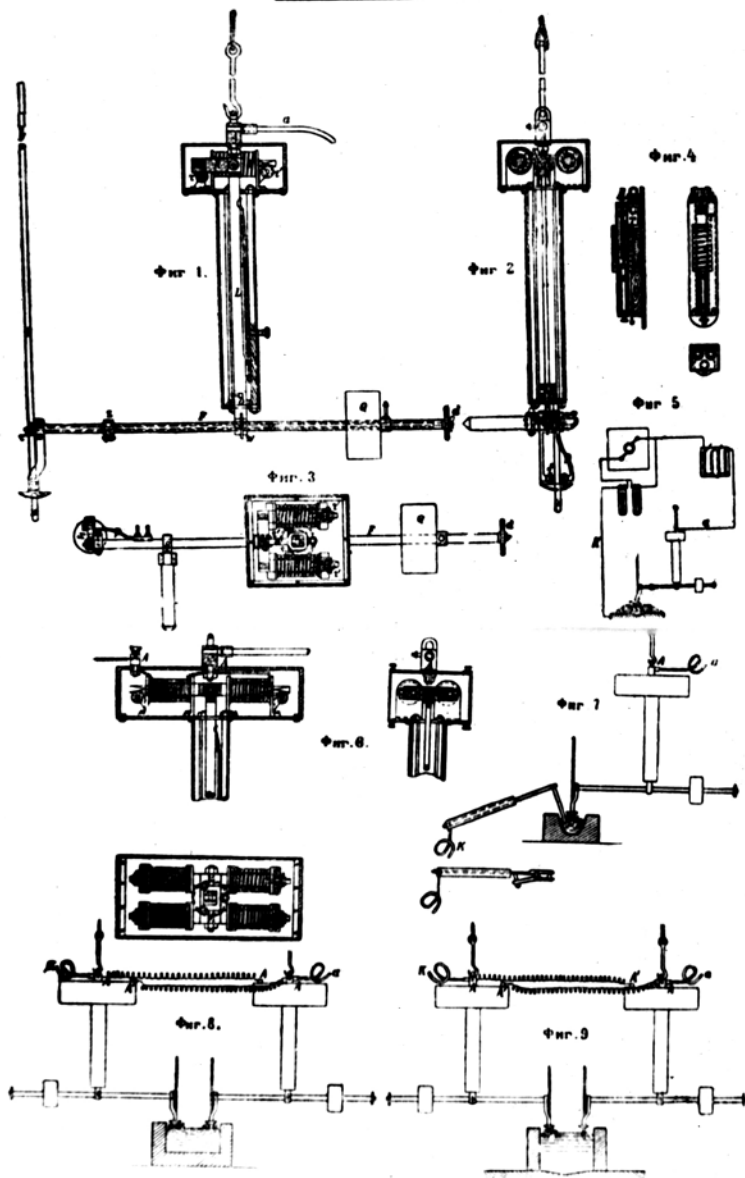
Н.Г. Славянов настолько широко начал применять изобретенный им способ сварки для самых разнообразных изделий, что в последующем отдельные авторы приписывали изобретателю работы, которые сегодня не подтверждаются документально. Так, в ряде источников советского периода сообщается о том, что в 1890 году при сооружении на заводе буксирного парохода «Редедя, князь Косоогский» Н.Г. Славянов «впервые в мире соединил многие железные листы корпуса с помощью электросварки». Но в известных нам работах Н.Г. Славянова нет упоминания парохода купца Ушакова. Трудно предположить, что Н.Г. Славянов, отличавшийся исключительной добросовестностью и основательностью исследователя, подтверждавший каждую сделанную работу актами и подсчетами прибыли от нее, мог не указать этой, заменившей бы трудоемкую операцию клепки.

После тщательной проверки надежности и эффективности разработанного способа Н.Г. Славянов в августе 1890 года подал прошение в Департамент торговли и мануфактур о выдаче ему привилегии на «способ электрической отливки металлов». Одновременно он подает заявку на патентование и второго своего изобретения – «способа электрического уплотнения металлов». При этом в Горный департамент Н.Г. Славянов посылает расписку о том, что он предоставляет возможность безвозмездно применять оба изобретения на казенных заводах Горного департамента, даже если получит привилегии.

Н.Г. Славянову были выданы в России привилегии от 13 августа 1891 года № 8748 на «способ и аппараты для электрической отливки металлов» и № 8747 на «способ электрического уплотнения металлов». В 1890/91 годах оба способа были запатентованы во Франции (№ 208604 от 2 октября и № 208605 от 9 октября 1890 г.), в Германии (№ 59892 от 11 октября и № 57417 от 10 октября 1890 г.), в Англии (№ 16279 и № 16280 от 13 октября 1890 г.), а также в Австро-Венгрии и Бельгии, сделаны заявки в США, Швеции и Италии.

Сравнивая способ сварки, предложенный Н.Г. Славяновым, со способом Н.Н. Бенардоса, описанным им в привилегии 1886 года и в публи-

Къ привилеги Горнаго Инженера Н Славянова.  
отъ 13 Августа 1891 г. № 9777



Чертеж к привилеги Н.Г. Славянова.

кациях других авторов в период 1886–1890 годов, следует отметить, что лишь на IV электрической выставке в 1892 году Н.Н. Бенардос впервые в представлении своего изобретения указал на возможность применения и металлического плавящегося электрода. Возможно, что совершенствуя свой способ, Н.Н. Бенардос также пришел бы со временем к мысли о применении металлического плавящегося электрода. Но приоритет Н.Г. Славянова состоит не только в применении металлического плавящегося электрода, но также в целом ряде технологических приемов, обеспечивающих высокое качество сварных соединений. К ним относятся такие, как использование флюса, легирование расплавленного металла, предварительный подогрев изделия и автоматическое регулирование длины дуги. Игнорирование технологических особенностей способа Н.Г. Славянова и применяемых им аппаратов, то есть упрощенное рассмотрение привилегии на способ обработки металлов электрической дугой, горящей между металлическим плавящимся электродом и изделием, приводило к тому, что различие между способами стиралось.

Н.Н. Бенардос, рассматривая оба изобретения Н.Г. Славянова как усовершенствование своего способа «обработки металлов вольтовой дугой», обратился примерно в 1891/92 годах в суд в Петербурге с прошением об аннулировании привилегий Н.Г. Славянова. Скучность архивных материалов не позволяет точно установить даты и ход процесса по иску Н.Н. Бенардоса. В качестве экспертов суд привлек видных русских ученых-физиков Петербургского университета: О.Д. Хвольсона, В.Я. Флоренсова, Н.С. Курнакова. В заключении О.Д. Хвольсона от 8 декабря 1892 года и в ответах экспертов отклоняются претензии Н.Н. Бенардоса и подтверждается, что оба изобретения Н.Г. Славянова не являются составной частью изобретения Н.Н. Бенардоса, а представляют собой самостоятельные привилегии.

И действительно, оба способа создания дугового разряда – с применением неплавящегося электрода («способ Бенардоса») и плавящегося («способ Славянова») – сразу же стали хорошо известны, применялись в промышленно развитых странах и в последующем явились основой для разработки нескольких десятков различных методов соединения металлов, наплавки и резки.

В 1892 году Императорское Русское техническое общество (ИРТО) организовало в Петербурге обширную IV Электрическую выставку с участием отечественных и иностранных экспонентов.

Комиссия экспертов выставки, оценивая отечественных изобретателей, присудила только две высшие награды – медали ИРТО: «1. Дворянину Н.Н. Бенардосу – за удачное применение вольтовой дуги к сплавлению металлов и наплавлению одного металла на другой; 2. Горному инженеру

Н.Г. Славянову – за удачное применение вольтовой дуги к производству металлических отливок и к последующей их обработке с целью изменения химического состава металла и улучшения его механических свойств».

Подробно описывая представленные на выставке способы Бенардоса и Славянова, сравнивая и оценивая их, видный русский электротехник М.А. Шателен (1866–1957) в заключении отметил: «Оба способа, Славянова и Бенардоса, имеют каждый свои применения».

Экспозиция Н.Г. Славянова на выставке состояла из образцов (42 шт.) и фотографий, демонстрирующих возможности применения двух способов: «электрической отливки» и «электрического уплотнения» металлических отливок. «Электрическая отливка» была представлена образцами, полученными с применением следующих видов работ: I – заливание пустот (раковин) в металлических вещах; II – заливание сквозных отверстий или трещин; III – сливание частей сломанной вещи; IV – приливание отломанных или недостающих частей; V – исправление изношенных поверхностей; VI – наливание слоя металла; VII – обращение белого чугуна в серый; VIII – отливка целых вещей; IX – приготовление труб; X – приготовление сплавов; XI – наливание различных



*Н.Г. Славянов (первый ряд, третий справа) со своими коллегами, руководителями Пермских пушечных заводов.*



металлов друг на друга». В числе образцов раздела XI приводятся такие, как № 36 – «наливы на сталь: чугун, бронза и железо» и № 37 – «бронза, электрит, красная медь, чугун, сталь, латунь, сталь, чугун, красная медь, электрит, бронза».

Среди стендовых образцов находился «особый сплав электрит для трущихся частей, отличающийся большой твердостью и малым коэффициентом трения». В газете «Пермские губернские ведомости» (1891 г., 21 декабря) сообщалось: «Н. Славяновым составлен в известной пропорции сплав, или, вернее, «слияние» из трех металлов – чугуна, железа и меди, – который назван им «электрит» и который будет иметь большое значение в области применения его к машинам». Но точных сведений о составе этого сплава, к сожалению, не сохранилось.

В своем обзоре IV Электрической выставки М. Шателен пишет, что интерес к изобретению Н.Г. Славянова усиливается тем, что он практически всем желающим демонстрирует процесс сварки. «Вся мастерская занимает около квадратной сажени, между тем в ней были произведены такие работы, как наливание на стальной вал слоя стали в 6 дюймов высотой и 3 дюйма в диаметре. Эта операция вместе с уплотнением отливки потребовала немногим больше получаса. Ток был в 300–400 ампер при 60 вольтах».

В своей первой книге «Электрическая отливка металлов горного инженера Славянова», изданной в 1891 году, Николай Гаврилович кратко изложил сущность изобретения и привел перечень выполненных работ: наиболее интересных в 1889/90 годах (7 работ) и подробный в январе (20 работ) и феврале 1891 года (25 работ). Книгу напечатала частная типография в Петербурге на русском (1500 экземпляров), английском, французском и немецком языках.

В 1892 году «Горный журнал» опубликовал статью Н.Г. Славянова «Электрическая отливка металлов», в которой автор приводит краткую историю изобретений, связанных с применением электрической дуги в металлургии, описывает сущность «электрической отливки» и перечисляет важнейшие работы, которые можно выполнить по его способу. К статье приложены: «Сравнительная таблица отличительных признаков электрогестаста и электрической отливки» с подробнейшим анализом обоих способов, «Ведомость о работах, произведенных с помощью электрической отливки в Пермских пушечных заводах», ранее опубликованная в его первой книге, и чертеж «электроплавильника». В своей следующей статье «Об электрической отливке и электрическом уплотнении», напечатанной также в 1892 году в журнале «Известия горных инженеров», Славянов изложил сущность двух разработанных им способов применения электрической дуги к металлургической обработке металлов.

В I-м отделе ИРТО в том же 1892 году заслушивается доклад Н.Г. Славянова «Электрическая отливка металлов», в котором он очень подробно излагает сущность изобретенного им способа и его отличия от способа «электрогефест» Н.Н. Бенардоса.

В 1892 году Н.Г. Славянов издает свой основной труд – «Электрическая отливка металлов. Руководство к установке и практическому применению ее», который бесспорно и по праву признается первой в мире монографией по исследованию дуговой сварки металлов. В первой главе книги Н.Г. Славянов приводит подробные сведения об оборудовании электролитной фабрики, включающем «электрический плавильник», подъемное устройство, вытяжную вентиляцию, печь для подогрева и вспомогательные приборы и мелкие инструменты. Вторая глава содержит практические рекомендации по технологии соединения, наплавки, ремонта различных материалов: чугуна, железа, стали, меди, бронзы, латуни. И хотя Славянов пишет: «Не следует забывать, что результатом электрической отливки железа или стали является литой некованный металл, и поэтому нельзя и требовать от него несоответствующих качеств, то есть чтобы прочность его равнялась прочности кововой стали», однако им тщательно разрабатывается целый ряд мер по получению высокого качества отлитого металла.

Отмечая необходимость выполнения предварительного подогрева изделия, Н.Г. Славянов указывает, что при этом обеспечивается не только повышение качества соединения, но и снижаются «вредные натяжения», связанные с усадкой металла сварочной ванны; «вследствие этих натяжений нековкие металлы (чугун, бронза) при застывании дают трещины, а ковкие много теряют в своей прочности». И для устранения этих явлений (при невозможности нагреть изделие) рекомендует производить отливку отдельными мелкими участками.

К числу обязательных Н.Г. Славянов относит и приемы, известные ему как металлургу-практику: защиту расплавленного металла жидким шлаком (битым стеклом), легирование, подогрев верхней части затвердевающего жидкого металла. В книге приводятся точные указания о том, в каких случаях целесообразно легировать жидкий металл, какими ферросплавами (ферромарганцем, феррокремнием, феррохромом, ферроалюминием) и в каком количестве.

Также детально разработаны самые разнообразные методы улучшения свойств литого металла в зависимости от материала изделия, его размеров и назначения. К ним относятся такие, как охлаждение нижних слоев отлитого металла, проковка, «прожигание» (по существу изобретенный им метод «электрического уплотнения»), «пропаривание» (второй нагрев для «постепенного застывания»), закалка.



*Основной труд Н.Г. Славянова – книга «Электрическая отливка металлов».*

Практически все рекомендации, разработанные Н.Г. Славяновым, применяются в современных технологиях дуговой сварки металлов. Как отметил академик Б.Е. Патон, Н.Г. Славянов «внес в методы электросварки много усовершенствований и по праву считается основоположником современной металлургии сварки. Его работы в этой области до сих пор служат основой многочисленных и разнообразных исследований, которые в наши дни проводят ученые-сварщики и новаторы производства».

Славянов предвидел возможность более широкого использования электрической дуги не только для ремонта поломанных изделий и исправления литейного брака, но и для изготовления новых изделий: «при современной стоимости электрического тока нечего и думать о том, чтобы электрическая отливка целых вещей могла конкурировать с обыкновенной отливкой из печей. Но в некоторых исключительных случаях электрическая отливка металлов может оказать большую услугу в применении к отливке целых вещей».

В 1929 году в честь 75-летия со дня рождения Н.Г. Славянова его монография была переиздана в Германии, выдержки из нее были опубликованы в сборнике «Автогенная сварка» с введением М.А. Шателена и с перечнем важнейших работ, выполненных самим изобретателем.

В 1954 году в честь 100-летия со дня рождения книга была переиздана с комментариями и биографией Славянова, написанными К.К. Хреновым и С.Т. Назаровым.

В 1893 году на Всемирной выставке в Чикаго, посвященной 400-летию открытия Америки Х. Колумбом, в числе русских экспонатов были представлены оба изобретения Н.Г. Славянова. Награду – бронзовую медаль и почетный диплом – он получил «за оригинальность, эффективность и гарантированную прочность процесса электрической сварки». Среди экспонатов, представленных Н.Г. Славяновым на выставку, был так называемый «стакан Славянова», который наглядно демонстрировал возможность соединения разнородных металлов. Отливка, полученная последовательной наплавкой в формовку слоев из восьми материалов: колокольной бронзы, томпака (медноцинковый сплав), никеля, стали, чугуна, меди, нейзильбера (сплав меди с никелем и цинком) и бронзы – была обработана в виде двенадцатигранной призмы с отверстием внутри (высота призмы – 210 мм, вес 5,33 кг). Известно об изготовлении двух таких образцов: один в 1892 году экспонировался на IV Электрической выставке в Петербурге и хранится в электротехническом музее политехнического института; второй был на Всемирной выставке в Чикаго и теперь представлен в мемориальном доме-музее Н.Г. Славянова в г. Перми.

В период с 1891 по 1894 год на Пермских пушечных заводах с применением электрической отливки и при непосредственном участии Н.Г. Славянова было отремонтировано 1631 самых разнообразных изделий весом до 425 пудов (6,8 т) с подсчетом прибыли от каждой работы. Среди выполненных работ поражает уникальность и сложность ремонта старых бронзовых колоколов, разбитых на несколько частей. Поступление колоколов с просьбой починки из бедных церковных приходов, не имеющих средств для покупки новых, было значительным. Так, только за 1893/94 годы было отремонтировано 29 бронзовых церковных колокола весом от 86 фунтов (34,4 кг) до 309 пудов 10 фунтов (5000 кг). При этом Н.Г. Славянов добивался хо-



*Один из колоколов, восстановленных по методу Славянова.*

рошего звучания отремонтированного колокола. Как вспоминает сын изобретателя Н.Н. Славянов, письма к «колокольному мастеру» шли из разных мест России: «Я видел очень интересное письмо: перед пасхальными праздниками отец починил колокол при помощи электросварки, а после пасхи получил колокол с благодарностью и извинениями по поводу новой поломки колокола; оказывается пасху праздновали очень шумно, и, радуясь, что колокол цел, так сильно били в него, что он опять сломался, но уже в новом месте. Колокол был снова починен».

По просьбе М.П. Глубоковского, главного редактора журнала «Русское обозрение», Н.Г. Славянов на основе опыта ремонта колоколов в 1893 году пишет статью «О возможности исправления московского Царь-колокола».

Втечение 1892–1894 годов на Пермских пушечных заводах по проекту Н.Г. Славянова была построена вторая электрическая установка на 1000 ампер и напряжением тока 100 В с паровым двигателем в 150 сил.

В отчете Пермских пушечных заводов Горному департаменту за 1894 год указывалось, что «построенная динамо-машина обладает значительно большею силою сравнительно с имеющейся, что существенно необходимо для выполнения серьезных электролитейных работ: новая же электролитейная фабрика с необходимыми приспособлениями устраняет те неудобства, какие терпели электролитейные работы за неимением помещения для их производства. Кроме того, с окончанием названных построек является возможность применения электрического уплотнения отливок».

Таким образом, с 1894 года началось практическое применение второго изобретения Н.Г. Славянова – «способа электрического уплотнения» крупных стальных отливок. В своем докладе на технической беседе электротехнического отдела 26 марта 1895 года и в общем собрании членов ИРТО 15 апреля 1895 года Н.Г. Славянов подробно рассказал о сущности изобретения и его практической пользе. Рассматривая процесс кристаллизации металла в отливках и возникновение различных дефектов (пустот), связанных с «преждевременным застыванием верхней части слитка», Н.Г. Славянов анализирует известные в то время методы уплотнения отливок. Вместо применения «литников» большого объема или «прибылей», а также химического или механического способов уплотнения, не устраняющих образование усадочных пустот, он предлагает новый «состоящий в подогревании верхней поверхности слитка до температуры плавления стали... Практически же этот способ можно, по видимому, выполнить различным образом, потому что для этого можно, казалось бы, применить любой источник тепла, способный дать температуру плавления стали». Наиболее эффективным является способ «электрического уплотнения» при помощи вольтовой дуги, электродами



*Н.Г. Славянов и С.Р. Туржанский у слитка, уплотненного по способу Н.Г. Славянова.*

которой служат: положительным – поверхность уплотняемого слитка, а отрицательным – стальной или угольный стержень. В конце 1894 года были уплотнены три болванки тигельной стали по 320 пудов каждая и одна болванка мартеновской стали в 700 пудов, при этом прибыльная часть уменьшилась с  $\frac{1}{3}$  до 10% объема слитка. По результатам приведенных расчетов докладчик утверждает, что и при 10% объема слитков из мартеновской или тигельной стали, идущих в брак, способ электрическо-

го уплотнения «доставит громадную экономическую выгоду». И уже 16 октября 1895 года на технической беседе общества помощник Н.Г. Славянова инженер С.Р. Туржанский привел сведения о технологии и фотографию разреза стальной отливки весом в 500 пудов, уплотненной электрическим способом и указал, что «приблизительное количество негодной стали 3–4%».

Способ электродугового подогрева слитков, теоретически и практически разработанный Н.Г. Славяновым, нашел широкое применение уже в первой четверти XX века во Франции, США, Германии, Швеции и послужил основой для разнообразных методов подогрева крупных стальных отливок с использованием электричества.

Основной заказчик Пермских пушечных заводов – Главное Артиллерийское управление для оценки возможности применения изобретений Н.Г. Славянова к изготовлению артиллерийских изделий направило на завод комиссию военных специалистов. В Журнале комиссии № 2 от 31 октября 1897 года приводятся результаты сравнительных механических испытаний образцов из стальных изделий: целых, соединенных электрической отливкой, отожженных и подверженных термической обработке. Установлено, что разрушение во многих случаях происходит «в частях, соседних с местом сплавления», что свойства отлитых образцов из мягкой стали выше, чем из твердой, и что проковка улучшает свойства «слитых предметов». Комиссия осмотрела изделия, отремонтированные в 1892 году и исправно служащие на пермском полигоне и также ознакомилась с состоянием лафетов, подвергнутых ремонту на Обуховском сталелитейном заводе и успешно применяющихся на Главном артиллерийском полигоне.

В заключении Комиссии отмечается, что заводы, арсеналы и мастерские военного ведомства могут применять у себя способ Н.Г. Славянова для своих заводских работ. «Применение же его к артиллерийским изделиям может быть допущено только с разрешения Артиллерийского Комитета, всякий раз, когда таковое потребуется».

Широкой рекламой и продажей изобретений Бенардоса и Славянова занималась организованная в Петербурге примерно в 1892 году торговая фирма «Русское товарищество электрической обработки металлов». В своих докладах на технической беседе в Электротехническом обществе и в собрании ИРТО в 1895 году инженер А.А. Троицкий с горечью констатировал, что изобретенные в России способы электрической обработки металлов находят все большее применение во многих развитых промышленных странах. Число же русских фабрик и заводов, применяющих способы «электрогефест» Бенардоса и «электрическую отливку» Славянова, ограничено. Помимо Пермских пушечных заводов, способ Н.Г. Славянова

применялся на Невском, Обуховском и Коломенском заводах, Товариществом Московского металлического завода, на заводе торгового дома «Бенкендорф и К<sup>о</sup>» в Балаханах (Баку), на Александровском заводе Николаевской железной дороги, Одесскими мастерскими Юго-Западных железных дорог, на Черноморском механическом заводе в Екатеринославле (Днепропетровск). Докладчик приводит перечень иностранных предприятий (порядка 40) таких стран, как Германия, Франция, Англия, – уже применяющих или заключающих контракты на применение способа Н.Г. Славянова. В 1896 году на Всероссийской промышленной и художественной выставке в Нижнем Новгороде торговая фирма демонстрировала изобретения Бенардоса и Славянова, и они были удостоены похвальных наград. В 1900 году (уже после смерти Н.Г. Славянова) торговая фирма представила его изобретения на Всемирной выставке в Париже, где им была присуждена золотая медаль. В объяснительном каталоге экспонатов, подготовленном электрическим отделом ИРТО, в число 12 выдающихся русских электротехников включены Н.Г. Славянов и Н.Н. Бенардос.

На выставке в Нижнем Новгороде были представлены Уральские казенные горные заводы, и в их числе Пермские пушечные заводы. Николай Гаврилович принимал участие в работе выставки с 1 мая 1896 года в течение двух недель в качестве эксперта. Н.Г. Славянов «за отличнo-усердные труды по происходившей в 1896 году в Н-Новгороде Всероссийской промышленной и художественной выставке всемиловитвейше пожалован орденом Св. Владимира IV степени».

Занятый обязанностями Горного начальника крупнейших заводов, огромной научной работой, осуществлением на практике своих изобретений, Н.Г. Славянов находил время и для активной общественной деятельности. Он принимал участие в открытии в Мотовилихе двухклассного женского училища, в создании минералогической коллекции, в открытии горнозаводского отделения при Алексеевском реальном училище, в Первой всеобщей переписи населения в России в 1896 году.

Н.Г. Славянов от рождения не отличался крепким здоровьем, но он никогда не щадил себя, участвовал непосредственно во всех производственных делах, поражая окружающих целеустремленностью, энергией и работоспособностью. Зимой 1895/96 года он сильно простудился и тяжело заболел. Умер Николай Гаврилович Славянов 5 октября 1897 года в возрасте 43 лет.

Н.Г. Славянов был похоронен 7 октября в ограде Свято-Троицкой церкви (располагавшейся в Мотовилихе), и проводить его в последний путь пришли не только работники завода с семьями, но и многие горожане (свыше 10 тысяч человек).



Научная и техническая общественность тяжело восприняла весть о кончине Н.Г. Славянова. Ему были посвящены некрологи и статьи во многих газетах и журналах. Русское электрическое общество в Петербурге 20 октября 1897 года заслушало сообщение о жизни и деятельности Н.Г. Славянова.

Талантливый электротехник и металлург, Горный начальник одного из крупнейших оружейных заводов Н.Г. Славянов был истинным изобретателем и ученым, не жалевшим ни времени, ни здоровья, ни личных средств на разработку и внедрение своих открытий. 18 октября 1897 года газета «Пермские губернские ведомости» писала: «Трудно поверить, что человек, имевший к своим услугам для производства опытов громадные заводы, многие тысячи рабочих, массу опытных мастеров и инженеров, открывший способ, дающий одной казне сбережения в сотни тысяч, получавший очень крупное содержание по службе, – что этот человек умер, оставив свою семью буквально без копейки. И, однако, это правда, ибо, урезывая себя во всем, он все средства тратил на научные исследования и опыты».

В Советском Союзе решения Правительства об увековечении памяти Н.Г. Славянова были приняты в 1948 и 1954 годах.

28 ноября 1948 года прах Н.Г. Славянова был торжественно перенесен на новое место погребения – в сквер у Дома техники (ул. Уральская, 78, ныне в этом здании Пермский политехнический колледж им. Н.Г. Славянова). В митинге по увековечиванию памяти Славянова приняли участие делегации Академии наук СССР, Всесоюзного научно-



*Дом, в котором жил Н.Г. Славянов, был построен по его проекту.*

исследовательского общества сварщиков, Уральского политехнического института, Уралмашзавода, Уралвагонзавода, делегации предприятий, учебных заведений, учреждений города Перми. В почетном карауле у гроба стояли два сына Н.Г. Славянова: Николай Николаевич – член-корреспондент Академии наук СССР, профессор, доктор геолого-минералогических наук, директор лаборатории гидрогеологических проблем Академии наук СССР, и Александр Николаевич – кандидат химических наук, доцент кафедры химии Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

В 1954 году в честь столетия со дня рождения Н.Г. Славянова в сквере у Дома техники, рядом с могилой изобретателя был установлен памятник ему: бронзовый бюст на гранитном постаменте (скульптор З.В. Баженова, архитектор – В.В. Прозоровский). В память о Славянове была названа одна из улиц Перми, его имя присвоено механическому техникуму (ныне политехнический колледж) и одному из пароходов Камского пароходства, мемориальные доски установлены на двух домах, где жил Н.Г. Славянов.

14–16 сентября 1988 года в городе Перми состоялись мероприятия, посвященные 100-летию изобретения Н.Г. Славянова. Были проведены торжественное заседание и Всесоюзная научно-техническая конференция сварщиков. Впервые кафедрой сварочного производства Пермского политехнического института были систематизированы труды и изобретения Н.Г. Славянова, которые были изданы Пермским книжным издательством.

В Перми, в Мотовилихинском районе, был установлен памятник Н.Г. Славянову, авторы: скульптор А.А. Уральский и архитектор С.И. Тарасов. Изобретатель изображен в полный рост, у его ног – электроплавильник. Гранитный постамент имеет некоторое сходство со «стаканом Славянова» и на его лицевой стороне бронзовая факсимильная подпись «Н. Славянов».

Мемориальный дом-музей Н.Г. Славянова был открыт в доме (ныне ул 1905 года, 37), построенном по проекту Николая Гавриловича, в котором он жил и работал в период с 1888 по 1893 годы. Дом был подвергнут значительной реставрации, активное участие в которой принял первый директор дома-музея В.В. Анисимов.

Авторы экспозиции музея – художник М.Г. Павлюкевич и сотрудники областного краеведческого музея Т.П. Чуракова и В.А. Баландин. В экспозиции представлены рабочий кабинет Н.Г. Славянова, гостиная, домашняя лаборатория, в которой находятся верстак с инструментами Н.Г. Славянова, стол с приборами того времени: амперметром, вольтметром, барометром и др. Центральную часть экспозиции составляют мате-



*Бюст, установленный в честь столетия со дня рождения Н.Г. Славянова.*

риалы, рассказывающие об изобретении Н.Г. Славянова: точная копия «электроплавильника», макет сварочного генератора, копии наград Н.Г. Славянова на различных выставках, «стакан Славянова». Завершает экспозицию зал, посвященный современным способам сварки, представленным образцами и фотографиями, присланными в дар музею различными предприятиями страны.

Почетными гостями юбилейных мероприятий были внуки и правнуки Н.Г. Славянова. Из разных городов страны: Москвы, Ленинграда, Киева, – приехали два внука, два правнука, правнучка и праправнук. Все они получили образование, многие имеют ученые степени и занимаются научной деятельностью.

В этом, 2013 году, отмечая 125-летие изобретения Славянова, мы вновь убеждаемся в том, как значительно опередили свое время идеи и методы разработанные им. И никогда не утратят своего значения для соотечественников слова академика С.И. Вавилова (1891–1951), возглавлявшего Академию наук СССР с 1945 по 1951 годы: «Выдающийся русский ученый и талантливый изобретатель дуговой электросварки металлическим электродом Николай Гаврилович Славянов был одним из пионеров электротехники в России и своим величайшим изобретением, обогатив человечество, навсегда вошел в историю науки и техники в нашей стране и во всем мире».

## Список использованной литературы и архивных документов

1. Центральный государственный исторический архив (ЦГИА), г. Петербург: фонд 40: оп. 2, д. 101, д. 109; фонд 37: оп. 74, д. 166 оп. 55, д. 311; оп. 15, д. 908; оп. 53, д. 2995.
2. Архив Академии наук РФ, г. Москва: фонд 585, опись 1/2014 Н.Г. Славянов: д. 30, д. 26, д. 53, д.15.
3. Краткие сведения о Пермских пушечных заводах. – Пермь: Типография П.Ф. Каменского, 1899. – 14 с.
4. Горное дело и металлургия на Всероссийской промышленной и художественной выставке 1896 г. в Нижнем Новгороде. Вып. 3-й. – СПб: Изд. Горного департамента, 1897. – С. 8.
5. Российский государственный военно-исторический архив (прежде ЦГВИА), г. Москва: фонд 506, оп. 1, д. 115.
6. Нижегородский вестник пароходства и промышленности. – 1888. – № 7 – С. 5; 1890. – № 5 – С. 51–52.
7. *Верхоланцев В.С.* Город Пермь, его прошлое и настоящее. – Пермь, 1913. – С. 19.
8. *Бенардос Н.Н.* Научно-технические изобретения и труды. – Киев: Наукова думка, 1982. – 239 с.
9. *Радунский Л.Д.* Николай Гаврилович Славянов // *Электричество*. – 1954. – № 6, С. 78–82.
10. Славянов Н.Г. Труды и изобретения. – Пермь: Кн. изд., 1988. – 298 с.
11. Огиевецкий А.С., Радунский Л.Д. Николай Гаврилович Славянов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1952. – 180 с.
12. *Шарц А.К.* Николай Гаврилович Славянов. – Пермь: Кн.изд-во, 1965. – 63 с.
13. *Чеканов А.А.* Николай Гаврилович Славянов 1854–1897.-М.: Наука, 1977. – 103 с.
14. Распределение наград между экспонентами IV Электрической выставки. // *Электричество*. – 1892, № 11–12, С. 145–146.
15. *Шателен М.А.* Электрическое паяние и электрическая отливка металлов. IV Электрическая выставка. // *Электричество*. – 1892. – № 8, с. 115–121, № 9/10, С. 129–135.
16. *Патон Б.Е.* Современное состояние автоматической сварки под флюсом – итог развития идей Н.Г. Славянова: Сб. докл. научн.-техн. конференции сварщиков, посвященной 100-летию со дня рождения Н.Г. Славянова. – Киев: Машгиз, 1955. – С. 18.
17. *Славянов Н.Н.* Воспоминания об отце (О Н.Г. Славянове, изобретателе дуговой сварки металлическим электродом 1854–1897) // *Электричество*. – 1954, № 6. – С. 83–85.
18. Всемирная выставка в Чикаго. Русский отдел. Отчет генерального комиссара Русского отдела Всемирной Колумбийской выставки П.И. Глуховского. – СПб, 1895. – С.184.

## ОН БЫЛ РОССИЙСКОГО ДВОРЯНСТВА ПРЕКРАСНЫЙ ПРИМЕР

**Г**орные инженеры! Эти прекрасно образованные, элегантные чиновники, одетые в строгие мундиры, составляли элиту гражданского общества Пермской губернии. На форменном сюртуке каждого горного инженера с правой стороны носился серебряный знак, подчеркнуто говорящий, что хозяин его является выпускником одного из самых представительных высших учебных заведений России – Горного института. Прославили Пермский край своими научно-техническими открытиями горные инженеры: член-корреспондент Российской Академии наук, полковник П.Г. Соболевский, создатель первого русского парохода на Пожевском заводе; директор Горного института, профессор Н.В. Воронцов, основатель Пермских пушечных заводов, создатель самого большого в мире (в 60-х годах XIX века) 50-тонного молота на Пермских пушечных заводах; член-корреспондент Академии наук СССР М.А. Шателен, сподвижник Н.Г. Славянова в области изучения электрических установок, автор научных сообщений об открытии способа электросварки Славянова.

Более ста лет тому назад современник Славянова П.А. Вологдин написал: «Имя Славянова составит честь и гордость края, стоявшего головой выше своих современников и сверстников; край наш будет хранить прах выдающегося двигателя прогресса в металлургии – изобретателя способа сливать, именно сливать, а не спаивать разнородные металлы. Результаты этого открытия еще так новы и свежи, что должная их оценка в экономике горного дела еще впереди». Эти слова, обращенные к потомкам, звучат как призыв к жителям современного города Перми беречь память о знаменитом творце «огненной дуги», деяния которого являются символом творческого дерзания для молодого поколения. Имя человека, который своим открытием прославил Землю Пермскую на века, должно украшать площадь, на которой Н.Г. Славянову воздвигнут памятник. Памятник есть – осталось самое малое.

Современники Н.Г. Славянова в своих оценках деятельности этого достойного представителя мировой науки постоянно подчеркивали его дворянское происхождение, тем самым приобщая Николая Гавриловича к прогрессивной когорте русских ученых-дворян. К слову сказать, и сам ученый с гордостью подчеркивал свою принадлежность к дворянству. Свообразным подтверждением этому является посылка Николаем Гав-



*Н. Славянов, детские годы.*

риловичем в 1894 году своего формулярного списка в Воронежское дворянское собрание. По просьбе Славянова ему была сделана копия: «Настоящая копия выдана из Главной Конторы Пермских пушечных заводов Горному Начальнику сих заводов, Горному Инженеру, Коллежскому Советнику Николаю Гавриловичу Славянову, вследствие просьбы его, на предмет внесения детей его в родословные дворянские книги Воронежской губернии».

Дело в том, что в Пермской губернии не было дворянского собрания, какие были в других губерниях, и поэтому для внесения своих детей в дворянскую родословную книгу Славянов отправляет форму-

лярный список в дворянское собрание по месту своего рождения. В те годы формулярный список представлял собой обширный биографический обзор деятельности Славянова с указанием всех имеющихся у него детей.

Гордость земли Пермской, один из самых выдающихся и самых талантливых русских инженеров, Горный начальник Пермских пушечных заводов, статский советник Николай Гаврилович Славянов родился в семье потомственного дворянина, штабс-капитана и кавалера Гавриила Николаевича Славянова. Проживала семья в Задонском уезде Воронежской губернии, в небольшом селе Никольском.

В метрической книге Никольской церкви записано: «...апреля двадцать третьего числа...» 1854 года родился первенец – сын Николай. Характерный для всех русских, но очень важный для дворянских семей выбор имени первенца – Николай, в честь деда Николая Егоровича. Через год после рождения сына Николая в дружной семье Славяновых родилась дочь Александра (1855 г.), в 1857 году родился Алексей, в 1858 году Гавриил (назвали в честь отца), далее, в 1861 году, – Анастасия, в 1862 году – Тихон (в честь святого Тихона Задонского), в 1863 году – Мария, в 1864 году – Александр, в 1866 году – Сергей, в 1868 году – Юрий и в 1869 году – Иван. В том же, 1866 году, не дожив до рождения младше-

го сына, умер Гавриил Николаевич. Для того, чтобы содержать детей, Софья Алексеевна вынуждена продать свое имение в Задонском уезде и переехать с семейством в Воронеж. Большая часть имущества была продана под заемные письма, под проценты. Любопытно, что рассчитывались с ней (постепенное погашение долга и процентов), вплоть до 1911 года.

В государственном архиве Воронежской области сохранился формулярный список о службе Задонского уездного предводителя дворянства штабс-капитана и кавалера Гавриила Николаевича Славянова. Составлен в 1861 году. Этот список свидетельствует, что у него было «временно обязанных дворовых людей и крестьян» 183 души (*имеется в виду только мужского пола – Ю.Н.*) и земли около 1 144 десятин. При этом необходимо отметить, что своих «дворовых людей и крестьян» у него было 72 души, а остальные – «благоприобретенные», присоединенные в результате женитьбы на представительнице древнейшего княжеского рода Шаховских княжне Софье Алексеевне Шаховской.

Князья Шаховские вели свою родословную от князя ярославского Константина Глебовича Шаха (XV век). Отец Софьи Алексеевны, князь Алексей Егорович, отставной секунд-майор, проживал в своем поместье



*Церковь села Никольского (в настоящее время на реставрации), в которой крестили Н.Г. Славянова.*

в Льговском уезде Курской губернии. Он являлся представителем шестой ветви князей Шаховских, XXIX колена от легендарного русского князя Рюрика. В семье Славяновых жило предание, что князь Е. И. Шаховской и подпоручик Н. Е. Славянов служили вместе и участвовали в войне с Наполеоном. Офицерская дружба сохранялась и поддерживалась, а когда дети подросли, боевые друзья решили породниться.

Следуя дворянским традициям, отец будущего великого русского ученого Гавриил Николаевич большую часть своей недолгой жизни находился на военной службе. Имея такое скромное родовое имение, к числу богатых помещиков он явно не относился. Столь «обеспеченных дворян-помещиков» в Российской империи было основное большинство. Эти малоземельные дворяне в основном и пополняли ряды государственных служащих и военных. Жалование за службу позволяло им жить достаточно обеспеченно.

Истоки дворянского рода Славяновых прослеживаются только до XVIII века. Известно, что дед Н. Г. Славянова Николай Егорович начинал «службу государеву» военным с 1798 года и, по некоторым данным, принимал участие в войне с Наполеоном. В начале XIX века, в 1806 году, «уволен от службы» в чине подпоручика и поселился в родовом поместье Никольском Воронежской губернии. В 1824 году у Н.Е. Славянова родился сын Гавриил, отец будущего гениального ученого – Николая Гавриловича Славянова. Детство и юношеские годы Гавриила Славянова были посвящены подготовке к службе в армии. По русской традиции, установленной в дворянском сословии, многие молодые дворяне в качестве жизненного поприща выбирали военную службу. О первых годах воинской службы молодого дворянина сообщает так называемый «Формулярный список», который заводился на всех служащих в военном и гражданском ведомствах.

«Формулярный список о службе и достоинстве Драгунского Его Императорского Высочества, наследника царевича полка прапорщика Славянова. 24 августа 1845 года» передает информацию о юном офицере. Читаем в колонке: «чин, имя, отчество и прозвание... и какого вероисповедания» написанные гусиным пером коричневыми чернилами аккуратные строчки: «Прапорщик Гаврило Николаев сын Славянов. Исповедования православного» и далее длинной строкой: «Из Дворян Воронежской губернии». Воинский формуляр Г. Н. Славянова сообщает, что он начал воинскую службу в 18 лет юнкером в 1-ом конно-пионерном эскадроне (*юнкер – воинское звание, не офицерское, было специально введено в кавалерии для дворянских юношей – Ю.Н.*). В 1844 году юнкер Славянов получает первый офицерский чин – прапорщик и переводится в драгунский полк, о названии которого сообщалось выше.



Перед поступлением на службу он получил неплохое домашнее образование. О том, каков уровень образования юнкера Славянова сообщают коричневые строчки документа из XIX века: «...российской грамоте читать и писать умеет... знает науки... российскую грамматику, арифметику, российскую историю, всеобщую историю... новую географию России, Европы, геометрию и часть планиметрии, артиллерию, воинский устав о полевой и гарнизонной службах, языки немецкий и французский». Перечень указанных дисциплин свидетельствует о высоком уровне образования в среде мелкопоместного дворянства.

Годы военной службы Г. Н. Славяновым в конно-пионерном эскадроне прошли для него успешно, и командир драгунского полка на вопрос формулярного списка: «...к повышению чином и к награждению знаком отличия беспорочной службы достоин...» ответил твердым росчерком пера: «Достоин».

О дальнейшей службе прапорщика Славянова рассказывает «Формулярный список», составленный в 1861 году. В 1849 году уже поручиком Гавриил Славянов был «...в походах во время войны против мятежных венгров». Драгунский полк, в котором он служил, совершил рейд по землям Царства Польского и Галиции, и, «дойдя до Дрогобыча, вернулся в пределы России...». Пояснения формулярного списка не сообщают о каких-либо сражениях или столкновениях драгунов с «мятежными венграми» – видимо, таковых не было. В 1851 году, уже будучи штабс-капитаном, Гавриил Славянов по высочайшему приказу от 27 февраля «...по домашним обстоятельствам от службы уволен тем же чином».

Через год после рождения Н.Г. Славянова, в ноябре 1855 года, штабс-капитан Г. Н. Славянов, как и все патриотически настроенные дворяне, идет служить в Воронежское ополчение. Враг вновь пришел на русскую землю. Скупые строки формулярного списка сообщают «по выбору Дворян поступил на службу в государственное ополчение Воронежской губернии... определен в Дружину №231 тем же чином...» и 12 декабря 1855 года «прибыл в Дружину». Государственное ополчение было создано во многих губерниях Российской империи в связи с нашествием на земли России войск европейских государств – Англии, Франции, Турции и Сардинского королевства. К слову сказать, и в Пермской губернии было тоже создано ополчение.

По всей России в 1855 году прокатилась волна патриотического подъема российской общественности. Первыми на призыв императора Николая Павловича, естественно, откликнулись русские дворяне. Во всех губерниях Европейской части были сформированы ополченческие полки – около 360 тысяч человек. Но не все ополчения принимали участия в боевых действиях. Не воевало и Воронежское ополчение.

Прослужил в ополчении штабс-капитан Гавриил Славянов до 13 ию-ня 1856 года и «уволен от службы тем же чином». Согласно «Формулярного списка о службе», Г. Н. Славянов в военных действиях «против неприятеля и в самих сражениях» не принимал участия, так как графа, свидетельствующая о походах и сражениях, не имеет записей. За «отлично-усердную и ревностную» службу в ополчении Задонский помещик штабс-капитан Гавриил Славянов 19 апреля 1857 года получил право на ношение бронзовой светлой медали «в память военных событий 1853, 1854 и 1855 годов», а спустя год служба в ополчении была отмечена Высочайшим указом, и Гавриил Славянов был «пожалован кавалером ордена св. Станислава 3-й степени».

В среде дворян Задонского уезда Воронежской губернии штабс-капитан Славянов был примечателен, и в 1859 году съезд дворян уезда избирает его «...в должность Задонского уездного Предводителя Дворянства». Роль предводителя дворянства в управлении уездом была очень велика, практически он являлся первым лицом в уезде. Кандидатура предводителя уездного дворянства обязательно утверждалась губернатором.

Г.Н. Славянов умер рано – в 43 года. Тело предводителя Задонского дворянства штабс-капитана Славянова было погребено в монастырском ските. Сохранилось письмо внука Г.Н. Славянова, десятилетнего Николая, которое он написал своему отцу Н.Г. Славянову после посещения Воронежа со своей матерью, Варварой Васильевной. Старательным детским почерком будущий член-корреспондент Академии наук СССР, именем которого названа знаменитая минеральная вода «Славяновская», писал: «Милый Папа! (величественное обращение сына к родителю с заглавной буквы – знак особого почтения к любимому отцу!) Мама была в Задонске, служила молебн угоднику Тихону, и в скиту у могилы дедушки отслужила панихиду. Дуб, который был маленький 16 лет тому назад (над дедушкиной могилой), вырос таким высоким, что Мама не смогла сорвать листа. Саша должен был влезть на ограду, чтобы сорвать несколько листьев. Мамочка дала мне один листик на память, и посылаю тебе тоже один. Я мой листик положил в Евангелъе, которое ты мне подарил. Бабушка прислала мне образок Смоленской Божьей Матери... Милый папа, я скучаю по тебе очень... Любящий тебя твой сын Коля».

Сколь необычная для молодежи XXI века теплота слов к родителям. «Листик от дуба, который растет над могилой дедушки Гавриила в Скиту десять верст от города Задонска» – эту нежную приписку сделал Коля на конверте с вложенным в него листиком. С каким осознанным чувством почитания своего деда пишет внук о листике дуба! Этот листок явился соединяющим поколения дедушки и внука: это и трепетная память, и гордость маленького Коли за принадлежность к старинному дворянскому



*Софья Алексеевна Славянова,  
урожденная княжна Шаховская.*

роду Славяновых. Дуб – символ крепости, твердости, достоинства, величия и долголетия. И естественно, что на могиле дворянина, офицера русской армии было посажено символическое дерево, достойная память о погребенном.

Тяжелая утрата, но Софья Алексеевна с истинно дворянским достоинством перенесла все житейские тяготы, воспитала и дала образование восьмерым сыновьям. Исторический род Славяновых после ухода из жизни главы семейства выжил благодаря самоотверженности урожденной княжны Софьи Алексеевны Шаховской. Достойная дочь российского дворянства,

она нашла в себе силы, терпенье, мужество вырастить и воспитать всех своих сыновей и дочерей, и они хранили о ней самые нежные воспоминания как о женщине, которая, несмотря на тяжелые материальные условия, с честью прожила благородный путь Матери. Все дети ее и внуки любили и лелеяли свою мать и бабушку. В их взаимных отношениях проявлялась особая нежность, чему во многом способствовал прекрасный характер Софьи Алексеевны, всегда скромной, доброжелательной, религиозной, и, наряду с этим, благородной и независимой. Мудрая и деятельная женщина, создавшая личной заботой и материнскими усилиями дружную семью, центром которой она оставалась до своей кончины.

Для того, чтобы содержать детей, Софья Алексеевна вынуждена была продать свое имение в Задонском уезде и переехать с семейством в Воронеж. Несмотря на житейские трудности, свалившихся на плечи княжны знатнейшего русского рода, она не пала духом и смогла дать образование почти всем сыновьям и дочерям.

Кроме финансовых лишений, были и естественные детские болезни. В роду Славяновых сохранилось предание о болезни в младенческом возрасте первенца Николая. У малыша не переставая болело ухо, внутренние нарывы причиняли ему сильную боль. Попытки доктора вылечить младенца ни к чему не привели. Большое беспокойство матери подтолкнуло ее к решению идти с маленьким Коленкой в Задонск и поклониться

мощам Тихона Задонского. По обычаю, тогда существовавшим, Софья Алексеевна с младенцем на руках пешком из своей деревни пошла в город Задонск. Придя к месту, где находились мощи святого, она положила ребенка около святыни. До того младенец долго не спал, а тут мгновенно уснул. Об этом чудесном исцелении в монастыре была напечатана брошюра. Этот счастливый случай божественного исцеления Николая Гавриловича в детстве отразился на его духовном мире, он отличался среди братьев своей православной терпимостью и общительностью, необыкновенно чутко заботился о матери.

В 1872 году Николай Славянов с золотой медалью окончил Воронежскую гимназию и по рекомендации педагогического совета (что случалось очень редко) 21 августа того же года подал прошение директору Петербургского горного института:

«Желяя поступить в число студентов вверенного Вам института, имею честь покорнейше просить Ваше Превосходительство допустить меня до испытания, при сем представляю: 1) свидетельство о звании и возрасте, 2) свидетельство о дворянстве, 3) свидетельство от Воронежской гимназии и 4) вид на право жительства в С.-Петербурге».

Будучи студентом, он занимался научными исследованиями, которые были отмечены членами Совета института. Николай Славянов на пятом курсе получил «Почетный отзыв» Совета института «за проект паровой машины Вульфовского типа с придуманным им особым парораспределительным механизмом с гидравлическим регулятором, прикрепленным к одной из спиц махового колеса».

Проживая в столице в период своего обучения в Горном Институте, Николай Славянов испытывал материальные затруднения. Финансовую помощь от матери он не получал, поэтому вынужден был обратиться к директору Горного Института с просьбой о назначении ему стипендии. В своем заявлении от 29 мая 1874 г. на имя директора Славянов пишет: «Не находя достаточно средств к жизни, имею честь покорнейше просить принять меня в число стипендиатов Горного института; так как в нынешнем году мне нужно ехать на практические работы, то осмеливаюсь просить назначить мне вспомошествование на это время. Свидетельство о несостоятельности моей хранится в Горном институте». Совет Института удовлетворил просьбу Николая Славянова и назначил ему стипендию. Однако стипендия была столь незначительна, что Славянов вынужден был заниматься подработкой: давать уроки в богатых семействах Санкт-Петербурга.

В 1877 года Николай Славянов некоторое время проживал в Гатчине, где он познакомился со своей будущей супругой – Варварой Васильевной.

В июне 1877 года Николай Славянов был «выпущен», то есть окончил Горный институт, «со званием Горного Инженера, с правом на чин Коллежского Секретаря при поступлении на службу». Проработав на Воткинском и Омутнинском заводах, Н.Г. Славянов вместе с супругой и двумя маленькими сыновьями, Николаем и Александром, зимой 1883 года переезжает в Мотовилиху, на Пермские пушечные заводы, которые были известны прогрессивной по тем временам технической оснащённостью производства. Со 2 февраля 1884 года он занимает должность управителя орудийных и механических фабрик на государственных



*Н.Г. Славянов в форме студента Горного института.*

Пермских пушечных заводов. На высокую степень ответственности и исполнительности молодого управителя, техническую образованность и повышенный интерес к научным исследованиям обратил внимание Горный начальник Пермских пушечных заводов А.М. Афросимов. В ноябре 1888 года Н.Г. Славянову было предложено поработать «исправляющим должность Помощника Горного Начальника» (*заместитель директора завода – Ю.Н.*). Но утверждение Н.Г. Славянова в должности произошло только в феврале 1890 года, после успешного двухгодичного испытания.

Свои научные исследования Н.Г. Славянов начинает с создания электрической лаборатории. Результатом изучения свойств электричества и измерительных приборов становится создание на Мотовилихинском заводе электростанции. В 1887 году завод один из первых в России стал освещаться электричеством. Славянов изобретает особые регуляторы для дуговых ламп. Это – первое изобретение ученого, который «по свойственной ему скромности, ничего не писал о них».

Созданная им электростанция стала основной базой для дальнейших исследований. Постепенно рождалось гениальное открытие, без которого просто невозможно представить современную промышленность.

И вот 18 октября 1888 года 34-летний горный инженер Славянов продемонстрировал членам горного департамента «электрическое литье

металла» на поломанном коленчатом вале. В присутствии многочисленных очевидцев трещина на валу была залита металлом, и он был готов к работе. Когда Славянов закончил свой научный эксперимент, свидетели этого величайшего научного изобретения человечества – дуговой электросварки – наградили ученого радостными возгласами восхищения от увиденного.

Для проведения «электрического литья металла» пермский ученый создает первый в мире сварочный генератор. Первые успешные опыты приводят к промышленному использованию способа «электрического литья металла», и на заводе создается электролитейная фабрика (сварочный цех). Сотни металлических изделий, включая и бронзовые колокола, привозились на починку, и Славянов со своими помощниками успешно выполнял ремонт.

Изобретение пермского инженера быстро нашло практическое применение на многих предприятиях России, таких крупных оборонных заводах как Невском, Обуховском и Воткинском, не только России, но и на заводах Пинча в Германии и Кокериля в Бельгии. Н.Г. Славянов получил патенты на свое изобретение во Франции, в Германии, Англии и других странах. Высокую оценку его научного открытия дало Императорское Русское техническое общество. В 1892 году на IV Всероссийской электрической выставке в Санкт-Петербурге «горному инженеру Н.Г. Славянову – за удачное применение вольтовой дуги...» была вручена золотая медаль.

Американские инженеры, руководствуясь амбициозным духом превосходства над иными странами в области технического развития, и особенно над Россией, в газетах и журналах в саркастической форме распространили мнение, что способом, созданным Славяновым, можно сливать только черные металлы и нельзя, к примеру, слить бронзу с чугуном. Николай Гаврилович был знаком со столь странными высказываниями и вскоре опроверг их. Тысячи американцев в 1893 году с неподдельным интересом рассматривали очередное русское чудо, привезенное из далекой Перми, – «стакан Славянова», который экспонировался на Всемирной электротехнической выставке в г. Чикаго. Металлический стакан действительно представлял уникальное создание из черных и цветных металлов, слитых воедино творцом электрического литья металлов. На стенках стакана все виды металлов подписаны с помощью гравировки и представлены в такой последовательности: бронза, нейзильбер, медь, чугун, сталь, никель, томпак, колокольная бронза. Кроме стакана, Николай Гаврилович слил в такой же последовательности подставку под макет артиллерийского снаряда. Оба гениальных творения находятся в экспозиции дома-музея Славянова, доме, в котором Николай Гаврилович жил со

своей семьей до 1893 года. Этими гениальными творениями ученый опроверг пустые рассуждения в американской прессе и доказал, что российская наука является одной из самых прогрессивных в мире.

При непосредственном участии Н.Г. Славянова Пермское Алексеевское реальное училище в 1893 году демонстрировало свои достижения в образовательном процессе на Всемирной художественно-промышленной выставке в Чикаго.

2 мая 1891 года Горный начальник Пермских пушечных заводов А.М. Афросимов был переведен, или, как в то время писали, «откомандирован» на работу в Горный департамент в Санкт-Петербург, а Н.Г. Славянов стал «исправляющим должность» Горного начальника с 16 июля 1891 года. Более чем через два, 18 января 1893 года, пришло Высочайшее утверждение его в должности Горного начальника Пермских пушечных заводов, и он, как положено было по штатному расписанию, переехал на гору, в казенный дом Горного начальника Пермских пушечных заводов. В этом доме Н.Г. Славянов прожил со своим дружным семейством до трагических дней октября 1897 года.

80-е годы XIX века ознаменовались в г. Перми и Пермской губернии созданием целого ряда общественных организаций, деятельность которых



*Гравировка на бронзовом основании «стакана Славянова».*

была направлена на развитие в губернии естественных, исторических и технических наук. 6 июня 1889 года начала свою научную деятельность Пермская губернская ученая архивная комиссия. Членами этой комиссии была проведена большая поисковая работа по выявлению и сохранению исторических документов.

15 ноября 1890 года произошло первое заседание Пермской комиссии Уральского общества любителей естествознания. В эти же годы начинается сбор экспонатов для Пермского научно-промышленного музея.

В 1866 году в Санкт-Петербурге создается Императорское Русское техническое общество. В конце XIX века оно состояло из девяти отделов: I. Химическая технология и металлургия; II. Механика и механическая технология; III. Инженерно-строительное и горное дело; IV. Техника военного и морского дела; V. Фотография и ее применения; VI. Электротехника, VII. Воздухоплавание; VIII. Железнодорожное дело; IX. Техническое образование. К 1896 году Общество имело 23 отделения, в том числе пермское (с 1891 года). В 1897 году в Обществе было 683 почетных и действительных членов. Обществом издавались научные журналы: «Записки Русского технического общества», «Электричество», «Железнодорожное дело», «Техническое образование», а также «Труды» и «Записки» его отделений.

По инициативе Н.Г. Славянова был подготовлен Устав Пермского отделения Императорского Русского Технического общества, и 12 февраля 1891 года произошло его открытие. В отчете работы Пермского отделения за 1894 год количество членов указано пофамильно – 114 человек. Почетным председателем был пермский губернатор П.Г. Погодин. В почетных членах были: бывший Горный начальник Пермских пушечных заводов, тайный советник А.М. Афросимов – вице-директор Горного департамента; Главный начальник Уральских горных заводов, тайный советник И.П. Иванов. Председателем Пермского отделения был избран Н.Г. Славянов, товарищем председателя – директор Пермского Алексеевского реального училища М.М. Дмитриевский.

Будучи человеком, хорошо понимающим пути развития технологии производства, Н.Г. Славянов осознавал необходимость создания в Перми учебного заведения для подготовки специалистов со средне-специальным техническим образованием, которые могли бы руководить производственными участками в цехах. С этой целью в 1895 году он обратился в Оренбургский учебный округ, в который входила и Пермская губерния, с ходатайством об открытии в Перми горнозаводского училища. Попечитель Оренбургского учебного округа на ходатайство Славянова ответил предложением о переводе в Пермь горнозаводского отделения из Красноуфимского училища в Пермское Алексеевское реальное училище. Дирек-



тором училища был прогрессивный деятель М.М. Дмитриевский, который хорошо понимал важность такого перевода, столь необходимого для технического образования молодежи города Перми. Пермский губернатор П.Г. Погодин и городские власти поддержали создание в Пермском Алексеевском реальном училище горнозаводского отделения. 14 сентября 1896 года состоялось торжественное открытие горнозаводского отделения, и был подписан «Акт открытия при Пермском Алексеевском реальном училище горнозаводского отделения». По инициативе Славянова в Пермском Алексеевском реальном училище была создана уникальная учебная минералогическая коллекция.

В июле 1917 году горнозаводское отделение Алексеевского реального училища стало самостоятельным техническим училищем. В 1920 году оно было преобразовано в политехникум с трехгодичным обучением, причем окончившие три курса получали звание инженера. Осенью 1921 года металлургическое отделение политехникума преобразовано в Практический институт с правами высшего учебного заведения (другие отделения были среднетехническими). В 1923 году Пермский практический институт вновь именуется политехникумом, а с 1925 года – Пермским индустриальным техникумом.

В 1896 году Н.Г. Славянов начал активную деятельность по строительству в Мотовилихе Народного дома, который совместил бы в себе библиотеку-читальню, чайную и столовую, зал для разумных и полезных развлечений. Следует отметить, что в конце XIX века по всей Рос-



*Пермское Алексеевское реальное училище.*

сии появляются первые народные дома, которые представляли собой культурно-просветительные учреждения для рабочих. В 1897 году была подготовлена и утверждена смета на строительство Народного дома в размере 40 тысяч рублей. Но открытие Народного дома Славянову не довелось увидеть – оно состоялось только летом 1911 года.

Старший сын Н.Г. Славянова, видный советский ученый Николай Николаевич Славянов, член-корреспондент Академии наук СССР, вспоминал о своей жизни в Мотовилихе. В 1954 году в журнале «Электричество» № 6 была опубликована его статья «Воспоминания об отце», в которой он писал: «В годы, когда отец был здоров, отдых заключался летом в купанье, иногда в поездках в лес на лошадях или на катере, а зимой, во время рождественных праздников, он проходил на детских вечерах, елках, костюмированных балах. Я помню, какой большой эффект произвел Николай Гаврилович в костюме старой девы с собачкой. Иногда поездки в масках к знакомым происходили в большом угольном коробе (разумеется новом, чистом) на тройке лошадей. Бывали изредка развлечения и за карточным столом (преферанс и винт). Одно время знакомые отца увлекались и спиритизмом за круглым столом. По-видимому, отец тоже участвовал в этом развлечении. Тогда вызывались из «загробного мира» души знаменитых физиков и электротехников; впрочем, вспоминаю, что ничего умного или интересного они не сообщали. В конце концов, в проделках с «духами» была поймана одна из знакомых; все произошло так, как описано у Льва Толстого в «Плодах просвещения». После обнаружения жульничества сеансы прекратились. Дети развивались по-своему, много читали, летом увлекались плаваньем (плавали даже на остров на р. Каме) и катаньем на лодке. Нашим любимым занятием было: прицепить лодку к корме парохода, чтобы уплыть за несколько верст вверх по Каме, и назад плыть медленно по течению, без весел. Помню, что такие, конечно не безопасные, развлечения проходили без особых выговоров или возражений со стороны родителей».

Не оставался Н.Г.Славянов равнодушным к большим всероссийским событиям, несмотря на свою большую загруженность работой Горного начальника и научными исследованиями. В 1896 году в России проводилась первая всеобщая перепись населения, и Николай Гаврилович принял в ней самое активное участие. Он, как свидетельствует «Открытый лист», «назначен заведывающим 3-м переписным участком Пермской губернии Пермского уезда».

Много времени Славянов уделял социально-духовной жизни работников завода. Заводской поселок Мотовилиха являлся центром Мотовилихинской волости Пермского уезда, где находилось и волостное правление, но социальные заботы о жителях поселка несла администрация завода.



# ПЕРВАЯ ВСЕОБЩАЯ ПЕРЕПИСЬ

населения Российской Имперіи  
на основаніи ВЫСОЧАЙШЕ утвержденного положенія 5 Іюня 1895 г.

## ОТКРЫТЫЙ ЛИСТЪ.

По Указу Его Величества Государя Императора

**НИКОЛАЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА**

САМОДЕРЖЦА ВСЕРОССИЙСКАГО,

и прочая, и прочая, и прочая.

Предъявитель сего *Сергей Иванович Термицкий* фабричный заводчик, основатель *Венской фабричной фабрики* назначенъ завѣдывающимъ *3-го* переписнымъ участкомъ *Венской* губерніи *Венского* уѣзда \_\_\_\_\_ города, по производству первой всеобщей переписи населенія Российской Имперіи.

1896

Предписывается мѣстамъ и лицамъ подвѣдомственныхъ Министерству Внутреннихъ Дѣлъ, мѣстной полиціи, волостнымъ и сельскимъ управленіямъ оказывать означенному завѣдывающему участкомъ надлежащее содѣйствіе.

Данъ сей листъ въ С.-Петербурѣ *30 Октября 96* дня 1896 г.

ЕГО ИМПЕРАТОРСКАГО ВЕЛИЧЕСТВА Всемилостивѣйшаго ГОСУДАРЯ мого Министръ Внутреннихъ Дѣлъ, Шефъ Жандармовъ, Дѣйствительный Тайный Советникъ, Сенаторъ и Кавалеръ Орденовъ: Св. Благовѣрнаго Великаго Князя Александра Невскаго, Бѣлаго Орла, Св. Владимира 2 й степени, Св. Анны 1-й степени и Св. Станислава 1-й степени и имѣющей медали: серебряная: на Андреевской лентѣ въ память Св. Коронаціи ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II; на Александровской лентѣ, въ память ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА III и за труды по устройству крестьянъ въ Царствѣ Польскомъ и брѣзговую въ память усилренія Польскаго мятежа 1863—1864 гг.

*И. С. Славяновъ*



Управляющій дѣлами Главной Перечисной Коммисіи,  
Директоръ Императорскаго Статистическаго Комитета

Открытый лист, выданный Н.Г. Славянову 30 октября 1896 года за подписью Министра Внутренних дел России И.Л. Горемыкина.

В 80-е годы XIX века в поселке главными местами досуга для рабочих завода были восемнадцать винных лавок. По количеству выпитой водки на душу населения Мотовилиха стояла на первом месте в Пермской губернии. Молодой Горный начальник Н.Г.Славянов прекрасно понимал, какую угрозу несет пьянство семьям рабочих, и начал активно действовать. Им проводились встречи с рабочими, в результате которых было принято решение организовать «Общество трезвости». Предложение нашло поддержку среди рабочих, и вскоре общество было создано. 4 декабря 1894 года в здании механического цеха завода состоялось большое собрание рабочих, которые заявили об открытии Мотовилихинского общества борьбы с пьянством и был избран комитет, председателем которого стал близкий сподвижник Славянова, заведующий физико-химической лабораторией завода, горный инженер П.П. Савин. Почетным членом комитета был избран Горный начальник Н.Г. Славянов

В начале 1896 года обществом были открыты две дешевых чайных с читальным залом. В них устраивались лекции с показом световых картинок с помощью «волшебного» фонаря. Летом организовывались народные гуляния в Театральном саду. В сравнительно короткий срок обществу удалось добиться значительных успехов. Вот что говорят документы акцизного управления: доход винной торговли в Мотовилихе в 1896 году по сравнению с предыдущим годом сократился в два раза!

В конце XIX века в заводском поселении Мотовилиха проживало до 20 000 жителей. Здесь были начальные школы, богадельня, церкви, заводская больница, аптека, заводской театр. Н.Г. Славянов поставил вопрос об открытии специального заводского клуба, но слишком ранняя смерть его помешала исполнить эту задачу. И только спустя четыре года, в октябре 1901 года, был учрежден заводской клуб служащих Пермских пушечных заводов. Одной из его задач, провозглашенных уставом, разработкой которого занимался Н.Г. Славянов, было развитие «общественности», «выработка среди них умения себя держать прилично». В клубе были столовая, бильярдная, гостиная, зал, читальня, пианино. Члены клуба занимались организацией танцевальных вечеров, в зимнее время – устройством ледяных гор и катка на заводском пруду. Из рабочих завода составился духовой оркестр, который «играет недурно».

В начале 1880-х годов в Мотовилихе местная интеллигенция (горные инженеры, служащие, учителя, врачи) организовала кружок любителей сценического искусства. Играли пьесы Островского, Гнедича, Салова, Рутковского, князя Сумбатова, Григорьева, Чехова, устраивали музыкальные и литературные вечера. В Мотовилиху приезжали артисты, гастролирующие в Перми, интеллигенция Мотовилихи имела возможность посещать спектакли Пермского городского театра.

В связи с этим Горный начальник Славянов обратился к губернатору и в Пермскую городскую думу с просьбой отрегулировать расписание поезда из Перми до Мотовилихи. Об этом факте сообщила газета «Пермские Губернские ведомости» в 1895 г., что поступило ходатайство в городскую управу «исхлопотать у администрации Уральской железной дороги, чтобы последний поезд из города в Мотовилиху отправлялся после окончания спектакля в городском театре вместо 11 часов в 12 часов, и, если возможно, ежедневно».

К концу прошлого столетия Пермское уездное земство развернуло довольно большую работу по строительству школ, больниц, грунтовых дорог. Земству нужны были деньги, и тогда оно решило часть средств получать с Мотовилихинского завода, который по существовавшему положению (как предприятие, работающее на оборону) не платил земских налогов с оборота. Славянов пошел навстречу земским деятелям. Он, обещая земцам всяческую поддержку, посоветовал им действовать в судебном порядке, что они и предприняли. Сам же выдал справку о том, что завод выполняет много и невоенных заказов как частных лиц, так и других предприятий. Суд признал возможным взыскивать с Мотовилихинского завода налог с невоенной продукции. Пермское губернское земство стало жить чуть побогаче.

Благодаря неутомимой деятельности Н.Г. Славянова в Мотовилихе открылось двухклассное женское училище. По тем временам, когда в



*Горный начальник Н.Г.Славянов (в центре) со своими сослуживцами и офицерами – приемщиками военной продукции.*

Пермской губернии на одну грамотную женщину приходилось тринадцать неграмотных, это было большим прогрессом в народном просвещении.

Административная деятельность Н.Г. Славянова была тесно связана с деятельностью земского начальника Пермского уезда и уездным съездом. Усилия Горного начальника были направлены на предотвращение различного рода социальных преступлений рабочих завода. Иногда судебные разбирательства по провинностям рабочих, особенно бытового и имущественного характера, проходили при непосредственном участии Н.Г. Славянова. Главной задачей Горный начальник Пермских пушечных заводов ставил обеспечение защиты прав рабочих завода от всевозможных судебных ошибок.

В начале сентября 1897 года в Мотовилиху пришло радостное известие из Санкт-Петербурга. Старший сын Н.Г. Славянова Николай поступил в Императорский Горный институт им. Екатерины II. В ответ отец отправил ему письмо с поздравлением, которое, к сожалению, оказалось последним. На почтовых штемпелях конверта даты: отправлено из Мотовилихи 1 октября 1897 года, получено в Санкт-Петербурге 7 октября 1897 года, то есть после смерти Н.Г. Славянова.

В своем последнем письме Николай Гаврилович написал сыну: «Поздравляю Тебя, милый Коля, с поступлением в Горный и шлю мое благословение на все доброе. Надеюсь, что, сделавши успешно самый



*Вид заводского поселка Мотовилиха в конце XIX века.*

трудный шаг в жизни, Ты не потеряешь энергии и будешь добросовестно и старательно учиться далее; это сравнительно уже нетрудно. А главное..... всего. Целую Тебя и остаюсь любящий Тебя отец Н. Славянов. Я болен и не могу много писать».

Через пять дней после отправки этого письма, 5 октября 1897 года, Николай Гаврилович Славянов скончался.

Н.Г. Славянов был всегда окружен особенным материнским вниманием и заботой. Софья Алексеевна часто жила в семье сына, была добрым помощником супруге Николая Гавриловича Варваре Васильевне в воспитании внуков. Она сумела воспитать в своих детях мудрую сдержанность и подготовить их к жизни. Никто другой не смог бы так удачно подготовить детей и их внуков к сложным житейским будням, повседневному труду, лишениям, научить стойкости и мужеству. Как не прискорбно, но ей пришлось испытать и тяжесть страшной для матери утраты – смерть своего первенца. Именно она была у постели умирающего Николая Гавриловича.

В последние дни большая семья Славяновых жила в постоянной тревоге. 4 октября Николай Гаврилович почувствовал облегчение и с улыбкой сказал: «Отлежался, пора и за дело браться». Не привык он задерживаться в постели, несмотря на возникавшие и раньше болезненные ощущения в груди. Врач А.Ю. Вержбицкий предостерегал больного от активного движения, убеждал его полежать еще несколько дней до полного выздоровления. Но, к сожалению, не убедил.

Жизнь Николая Гавриловича оборвалась внезапно. 27 сентября он подписал свой последний приказ по заводу, 3 октября присутствовал при заварке вала паровой машины, а 5 (17) октября 1897 года его не стало.

7 октября 1897 года газета «Пермские губернские ведомости» напечатала печальное сообщение: «В воскресенье, 5 октября, в десятом часу утра, скончался в Мотовилихе начальник пермских пушечных заводов, известный изобретатель электрического сплавления металлов Н.Г. Славянов. Нечего и говорить, что горный мир всего света понес в лице почившего незаменимую утрату... человека еще не старого и полного сил и неустанной энергии... Мир праху безвременно почившего беззаветного труженика и замечательного человека». Под фразой «человека еще не старого» был обозначен 43-летний дворянин, статский советник, горный инженер, Горный начальник, руководитель Пермского пушечного завода Николай Гаврилович Славянов. Действительно, «не старого» – мужчина в расцвете сил и энергии – и вдруг такая трагическая развязка. Согласно медицинскому заключению Славянов умер «от грудной жабы». Странное название болезни, но именно так в те годы называли инфаркт миокарда.

Один из современников Н. Г. Славянова сообщил истинные причины кончины великого инженера: «Не щадя своего здоровья, Николай Гаврилович первоначальный зародыш болезни получил при исполнении служебных обязанностей. Работа под его руководством проводилась продолжительное время зимой на незащищенном от холода открытом месте, близ электрической машины, находящейся в закрытом помещении. Во



*Семья Н.Г. Славянова. В центре мать Н.Г. Славянова Софья Алексеевна, слева супруга Варвара Васильевна, справа Н.Г. Славянов.*





*Друзья семьи Славяновых у них в гостях.  
Крайний справа стоит Н.Г. Славянов.*

время действия электрического тока на исправляемый предмет с одной стороны чувствовался сильный жар, а с другой зимний холод. Через короткое время после этой работы Николай Гаврилович почувствовал сильную боль в ногах, перешедшую от простуды в ревматизм с опухолью ног...»

8 октября 1897 года Пермские губернские ведомости поместили небольшую заметку под скромной рубрикой «Местная хроника»: «В понедельник, 6 октября, в 12 часов дня, в квартире покойного Н.Г. Славянова, над его прахом преосвященным Петром, епископом Пермским и Соликамским совершена торжественная лития. Во вторник, 7 октября, в 8 часов утра происходил вынос тела почившего в местную церковь. Божественная заупокойная литургия и отпевание совершены преосвященнейшим владыкой Петром соборно с местным и отчасти городским духовенством. Тело Славянова погребено в ограде того же заводского храма. При выносе тела, отпевании и погребении присутствовали все местные горные инженеры и служащие пермских пушечных заводов при громадном стечении мастеровых этих заводов. Всеобщая скорбь о безвременной утрате одними – доброго товарища-сослуживца, другими – гуманнейшего начальника была глубоко искренна».

Более чем скромная заметка о человеке, имя которого было известно всему научному миру. Станным является и тот факт, что проститься с Горным начальником одного из крупнейших в России пушечных заводов, работавшего по заказам Военного и Морского ведомств, не удосужился вице-губернатор Пермской губернии Богданович. Современник тех собы-

тий писал: «Что же касается губернатора и высших чинов Уральского горного управления, то они восприняли весть о смерти великого изобретателя холодно и безучастно и на похоронах его не присутствовали».

Но, несмотря на «холодное безучастие» губернского управления, в похоронах Н. Г. Славянова приняли участие тысячи жителей заводского поселка и видные общественные деятели Пермской губернии.

Один из самых близких помощников Николая Гавриловича в научных исследованиях, близкий друг семьи Славяновых, заведующий физико-химической лабораторией, горный инженер, надворный советник Петр Петрович Савин в своем прощальном слове коснулся деятельности Славянова в становлении мотовилихинского общества борьбы с пьянством: «Позвольте же мне указать на одну сторону обширной и плодотворной деятельности Николая Гавриловича, которая характеризует его внимательное и заботливое отношение не только к материальным нуждам, но и нравственным интересам рабочих. Я хочу указать на то постоянное и неослабное участие, какое он до последних дней принимал в учреждении и судьбах нашего общества борьбы с пьянством. Пьянство – этот злой недуг заводского населения – прочно укрепилось в Мотовилихе, и недалеко было то время, когда по количеству потребления спиртных напитков на человека Мотовилиха стояла впереди остальных Уральских заводов. Гуманный и чуткий сердцем, Николай Гаврилович не мог не обратить внимания на зло, причиняемое пьянством благосостоянию населения, не мог не отозваться на жалобы и слезы матерей, жен рабочих, пропивавших свои заработки. Разумно предпринятыми мерами он значительно сократил пьянство, воздействуя с одной стороны, на рабочих, а с другой, на лиц, спаивавших их».

С теплыми словами признательности за большой вклад Н.Г. Славянова в развитие просвещения в городе Перми один из друзей, директор Пермского Алексеевского реального училища М.М. Дмитриевский сказал: «Со всегдашней своей добротой, с живой отзывчивостью на всякое доброе общепольное дело и с постоянной готовностью придти на помощь всему слабому и нуждающемуся, Николай Гаврилович и в своих отношениях к нашей, только что возникшей здесь горной школе, школе родной ему по специальности, не только поспешил обнаружить чувства самого сердечного и потому особенно дорогого для нас благожелательства, но и успел уже оказать ей весьма существенную помощь и поддержку при встретившихся невзгодах и затруднениях. ...Не сомневаюсь, что и учащиеся в этой школе навсегда сохраняют благодарные воспоминания о таком сердечном и участливом отношении Николая Гавриловича к их учебе и нуждам».

Завершил траурную церемонию священник Свято-Троицкой церкви отец Павел Конюхов: «Николай Гаврилович, сильный душою и неуго-



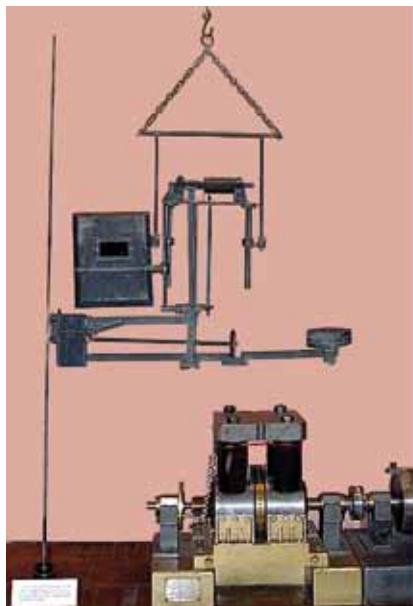
*Памятник Н.Г. Славянову в г. Перми.*



*Диплом Сибирско-Уральской научно-промышленной выставки в Екатеринбурге. Образцы, демонстрирующие возможности электроплавильника: стакан и подставка под снаряд.*



*Н.Г. Славянов (в центре) с группой мастеров возле электроплавильника.*



*Экспонаты Дома-музея Н.Г. Славянова: электроплавильник;  
шквив, отремонтированный по методу Славянова.*



*Рабочий стол Н.Г. Славянова.*



1)



2)



3)



4)



5)



6)

**Награды\* Н.Г. Славянова:**

- 1) орден Св. Станислава;
- 2) орден Св. Анны;
- 3) орден Св. Владимира;
- 4) медаль «За труды по первой всеобщей переписи населения 1897 года»;
- 5) медаль «В память Царствования Императора Александра III».
- 6) нагрудный знак выпускника Горного института.

\* – масштаб изображений не выдержан.

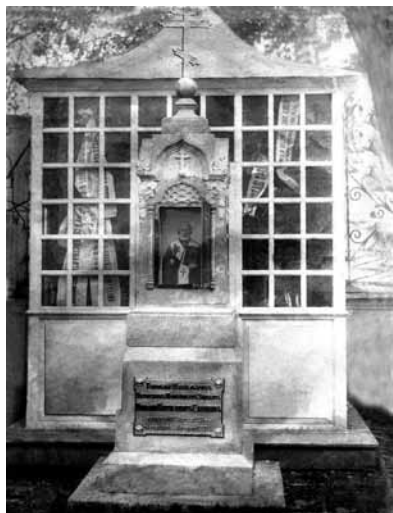
мимый труженик, помимо исполнения прямых своих обязанностей по должности находил время и силы послужить делу начального народного образования. Мотовилихинское двухклассное министерское училище нашло в нем заботливого и деятельного попечителя, неустанно, входившего во все нужды школы».

Безмолвие стояло на площади перед Свято-Троицкой церковью, в ограде которой происходило погребение, когда деревянный гроб с телом Славянова был перенесен в цинковый и тщательно запаян. Затем мастеровые бережно опустили гроб в специально выстроенный каменный склеп. Обнажив головы, сослуживцы, горные инженеры, служащие, артиллерийские офицеры-приемщики орудий и снарядов, мастеровые, рабочие и жители прощались с «гуманнейшим начальником», одним из талантливейших русских инженеров, «трудами которого еще во многом могла бы обогатиться русская техника». Внезапно ожил завод. Безмолвие оборвалось протяжными гудками цехов, отдавших последние почести генеральному представителю научного мира Российской империи.

Формулярный список «О службе Горнаго Начальника Пермских пушечных заводов, Горнаго Инженера, Статского Советника Славянова» составленного в 1897 году, начинался записью в графе номер 1: «Горный Инженер, Статский Советник Николай Гаврилович Славянов. Горный Начальник Пермских пушечных заводов. Родился 23 апреля 1854 года. Вероисповедания православного. Имеет ордена: Св. Владимира 4-й ст.,

Св. Станислава 2-й ст., Св. Анны 3-й ст., Св. Станислава 3-й ст., серебряную медаль в память Царствования Императора Александра III для ношения на груди на ленте ордена Св. Александра Невского и темно-бронзовую медаль для ношения на груди на ленте из государственных цветов за труды по первой всеобщей переписи населения 1897 года».

Графа 2 сообщает, что Н.Г. Славянов происходил «из дворян Воронежской губернии». Следующие графы 3,4,5,6 ставили вопрос «Есть ли имение?» и был краткий ответ: нет. Никаких дворянских поместий, усадеб, земель у государственного служащего, руководителя крупнейшего в России оборонного завода, дворя-



*Так выглядела могила  
Н.Г. Славянова до 1918 года.*

нина Николая Гавриловича Славянова не было. Формулярный список заканчивается трагической записью: «Состоя на службе, умер пятого октября 1897 года».

Достойный сын своего Отечества! Как просто – умер, состоя на службе. На службе умирали только те, кто, не щадя своей жизни, трудился на благо России.

Семья Николая Гавриловича, состоящая из матери, жены, трех сыновей и дочери, осталась без всяких средств к существованию. Газета «Пермские губернские ведомости» опубликовала 18 октября: «Трудно поверить, что человек, имевший к своим услугам для производства опытов громадные заводы, многие тысячи рабочих, массу опытных мастеров и инженеров, открывший способ, дающий одной казне сбережения в сотни тысяч, получавший очень крупное содержание по службе, – что этот человек умер, оставив свою семью буквально без копейки. И, однако, это правда, ибо, урезывая себя во всем, он все средства тратил на научные исследования и опыты».

Через два года после смерти Н.Г. Славянова его семья вынуждена была уехать из Мотовилихи. Старшие сыновья изобретателя Николай и Александр к этому времени были уже вполне самостоятельными людьми, но сыну Василию и дочери Людмиле еще требовалась поддержка. Все заботы о них легли на плечи супруги Варвары Васильевны. Скончалась Варвара Васильевна Славянова в 1923 году, в Гатчине.

Да и, к сожалению, признание выдающегося научного открытия Н.Г. Славянова в России пришло спустя десятилетия. В ноябре 1948 года в г. Молотове (Пермь) была создана городская комиссия «по увековечению памяти Великого русского изобретателя электросварки металлов, Горного инженера, бывшего Горного начальника Пермских Пушечных заводов Николая Гавриловича Славянова». Членами комиссии была проведена большая работа по поиску могилы Н.Г. Славянова, которая находилась в ограде Троицкой церкви в Мотовилихе. Могила была найдена, и останки Н.Г. Славянова были торжественно перезахоронены 28 ноября 1948 года. Перезахоронение произошло возле Дома техники (ныне колледж им. Славянова). Присутствовали при перезахоронении около 20 тысяч жителей Мотовилихи.

27 декабря 1949 года председатель Совета Министров СССР И. Сталин подписал постановление «Об увековечении памяти изобретателя электродуговой сварки металлическим электродом Славянова Николая Гавриловича». Совет Министров СССР постановил: соорудить в городе Молотове (ныне город Пермь) памятник – бюст Н.Г. Славянова. Бюст был установлен рядом с местом, где покоятся останки человека, который своими научными открытиями прославил Россию и город Пермь.





*Супруга Н.Г. Славянова Варвара Васильевна, старший Николай и дочь Людмила. Фотография сделана после смерти Н.Г. Славянова.*

#### Список использованной литературы и архивных документов

1. Государственный архив Пермского края. – Ф. 276, оп.2, дело 26.
2. Государственный архив Воронежской области. – Ф. 29, оп. 139. ед. хр. № 128. № 90–93, 92 об, 91 об, 90 об, 93 об, 22, 22 об, 23, 23 об.
3. Адрес-календарь и справочная книга Пермской губернии на 1888 г. – Пермь, 1887 г. стр.72–75.
4. Газета «Пермские губернские ведомости»: № 217 от 7 октября 1897 г.; № 223 от 14 октября 1897 г.; № 218 от 8 октября 1897 г.
5. Памятная книжка и адрес-календарь на 1888–1893 гг.
6. Адрес-календарь и памятная книжка Пермской губернии на 1894–1905 гг.
7. Горный журнал 1897 г., октябрь.
8. Газета «Звезда» № 231 от 20 ноября 1948 г.
9. Государственный архив Воронежской области. – Ф. 2, оп. 1. ед.хр. 6915, № 5, 5 об, 6, 6 об, 7, 7 об, 8, 8 об, 9, 9 об, 10.
10. *А.С. Огиевецкий, Л.Д. Радунский*. Николай Гаврилович Славянов. – Москва–Ленинград, 1952.
11. Материалы из архива рода Славяновых.

## СЕРЕБРЯНЫЙ ВЕК ОСВОЕНИЯ ДУГИ

Имена 12 русских электриков прозвучали впервые на весь мир на Всемирной выставке в Париже в 1900 году. Из этих имен здесь уместно отметить В.В. Петрова, Д.А. Лачинова, В.Н. Чиколева, П.Н. Яблочкова, Н.Н. Бенардоса и Н.Г. Славянова, чьи имена неразрывно связаны с открытием, исследованием и применением электрического дугового разряда в электротехнике.

Изобретение Николаем Гавриловичем Славяновым сварки плавящимся электродом произошло, конечно, не на пустом месте. Талантливый изобретатель опирался на тот немалый объем знаний по физике, химии, электротехнике и другим наукам, который человечество уже успело накопить к середине XIX века.

Первые успехи были достигнуты Галилеем и Гюйгенсом, а метод теоретической физики был создан и в первые изложен в 1687 году. Этот год, как отмечается во «Всемирной истории физики», вошел в анналы всемирной истории как знаменательная дата выдающегося события в мировой науке – выхода в свет энциклопедического труда профессора Кембриджского университета Исаака Ньютона, озаглавленного «Математические основы естествознания».

Основные термины учения об электричестве пришли к нам из древности. Фалес Милетский, описавший в VI веке до н.э. опыты по притяжению к наэлектризованному шерстью янтарю мелких предметов, дал науке первое ключевое слово «электрон» (янтарь по-гречески). Из мифов того же времени от пастуха по имени Магнес на острове Крит родилось слово «магнит». В 1600 году английский физик и врач У. Гильберт (1544–1603) ввел в науку третье слово – «электричество».

В XVII веке немецкий физик, военный инженер О. Герике (1602–1686) построил первую в мире электростатическую машину в виде шара из серы, насаженного на железную ось с ручным приводом (первый электростатический генератор) и обнаружил электрическое *отталкивание*. До начала XIX века этот генератор совершенствовался до придания ему формы той электростатической машины, которая сейчас должна быть в физическом кабинете каждой средней школы.

В 1733 году французский физик Ш.Ф. Дюфе установил два вида электричества – смоляное и стеклянное. В 1745/46 годах была изобретена знаменитая лейденская банка – первый в мире конденсатор-накопитель статических зарядов, который 150 лет совершенствовался и был важным инструментом в руках физиков.

В 1750 году американский политический деятель и любитель-физик В. Франклин (1706–1790) создал так называемую унитарную теорию электричества. Согласно ей существует только один вид электричества, соответствующий «стеклянному» электричеству Дюфе. Избыток электричества в теле по сравнению с нормальным количеством означает положительный заряд «+», а недостаток его указывает на отрицательный заряд «-» (смоляное электричество Дюфе). Простота обозначения зарядов покорила весь мир и навсегда. Основным достоинством этой теории является то, что она допускает движение зарядов, а все остальные теории были электростатическими. За положительное движение зарядов он принял движение от «+» к «-». Какова физическая сущность этих простых символов – ни автор, ни другие ученые не знали, и знать не могли. Для этого потребовалось свыше 150 лет. Теория Франклина была настолько наглядна и популярна, что он, не создавая первого в мире учебника по электростатике, стал его автором. В письмах своему другу Коллинзону – купцу, натуралисту, члену лондонского королевского общества (Академия наук Англии) – он описывал свои и известные опыты других ученых по электричеству, и так убедительно их объяснял и комментировал, что они были изданы отдельной книгой и переведены почти на все языки Европы.

Во второй половине XVIII века были проверены оригинальные работы по изучению электрических явлений академиками Петербургской Академии наук М.В. Ломоносовым (1711–1765), Г.В. Рихманом (1711–1753) и Ф.У.Т. Эпинусом (1724–1802).

О М.В. Ломоносове написано много, но наиболее кратко и полно охарактеризовал его А.С. Пушкин: «Он создал первый университет. Он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом».

Коллега и друг Ломоносова Г.В. Рихман разработал первый в мире прибор для количественной оценки электрической силы и в 1753 году, склонившись над ним, погиб от удара молнии во время грозы. Это трагическое событие потрясло многих физиков, и в России почти на 50 лет были прекращены эксперименты, связанные с изучением природы электричества. В западных странах эти работы продолжались, а в России только академик Ф.У.Т. Эпинус в 1758 году первый в мире высказал идею о связи электрических и магнитных явлений, базируясь на анализе своих исследований и опытных данных других ученых. Обобщая экспериментальные данные, он писал: «Из сего можно заключить не только о некоем союзе и сходстве магнитной и электрической силы, но и о сокровенном их точном подобии. Но я таким образом заключать не отважусь». На это отважились другие люди спустя 62 года в Дании (Х.К. Эрстед) и в Париже (А.М. Ампер).

Французский физик М.О. Кулон (1736–1806) изобрел крутильные весы – прибор для измерения минимальных сил. Он нашел способ устранить внешнее трение. Для этого он использовал длинную нить-струну, по величине скручивания которой определял силу электростатического взаимодействия. С помощью этого прибора Кулон в 1785 году установил один из основных законов электростатики, а затем магнетизма. Математическая формула этих законов совпадает с формулой закона всемирного тяготения И. Ньютона, и они столь же важны в электромагнетизме, как и закон Ньютона для всего макромира.

В 1790 году в Болонском университете Италии Л. Гальвани – врач, физиолог и анатом, а не физик по образованию – проводил анатомические исследования. В своей монографии «Комментарий о силах электричества в мускульном движении» (1791 г.) Гальвани описал знаменитые опыты с лапками мертвых лягушек, конвульсивно реагирующих на внешние раздражения различными сочетаниями металлов. В результате этих опытов он логично пришел к выводу, что внутри живых существ каким-то образом зарождается электричество. Тем более, уже было известно, что морские скаты, касаясь тела жертвы, поражали ее точно так же, как заряженная лейденская банка.

Опыты Гальвани продолжил его соотечественник, уже известный своими изобретениями и работами в области физики, Алесандро Вольта (1745–1827). Используя свой чувствительный электроскоп и снабдив его конденсатором, Вольта доказал и наличие контактной разности потенциалов у различных пар металлов-проводников первого рода, и то, что в замкнутой цепи, составленной из одних металлов, суммарное напряжение равно нулю, но если в ту же замкнутую цепь ввести жидкие или влажные проводники второго рода (электролиты), то в такой цепи возникает постоянный ток направления, зависящего от знака контактной разности потенциалов между крайними металлами.

Между Гальвани и Вольта разгорелся многолетний научный спор, но история науки показала, что оба были по своему правы. Гальвани является родоначальником электрофизиологии, а Вольта создал уникальный физический прибор, который открыл новую эру в развитии электричества и тем самым создал электрическую цепь, в которой заряды совершали замкнутое движение – электродинамику.

**П**оэтическое пророчество Ломоносова о том, «...Что может собственных Платонов И быстрых разумов Невтонов Российская земля рождать» сбылось уже при жизни автора. В средней полосе земли русской в городе Обаяни Курской губернии в 1761 году в семье приходского священника родился второй русский «быстрый разумом» – Василий Владимиро-

вич Петров (1761–1834). Получив в Обояни начальное образование, Петров перешел сначала в Харьковский коллегиум, а затем в Петербургскую учительскую гимназию. Не закончив гимназии, в 1788 году в возрасте 27 лет (долг был путь гимназиста) поступил на службу в горную школу г. Барнаула учителем физики и математики. В 1791 году он возвращается в Петербург, чтобы больше никогда его не покидать. С 1795 года он начинает преподавать математику и физику в местном врачебном училище. После преобразования в 1795 году училища в Медико-хирургическую академию Петров получает в ней место экстраординарного (внештатного) профессора «физико-математики». Здесь он создает физический кабинет, в который собирал, покупал и создавал сам новые приборы и аппараты для лабораторных работ. Не имея личных средств, он постоянно обращался во все инстанции, прося и умоляя выделить средства для организации этого физического кабинета. Деньги давали не всегда. Тогда он вынужден был покупать старые приборы, ремонтировать их и довольствоваться до рабочего состояния.

Поэты и писатели называют XIX век серебряным. С не меньшим основанием ученые и изобретатели могут назвать этот век серебряным и для науки. Оснований этому предостаточно: бурный подъем промышленности, развитие всех видов транспорта, познание законов электромагнетизма, лавина изобретений генераторов и электродвигателей, наряду с уже достаточно освоенной теплотехникой зарождение электротехники и из нее радиотехники – предтечи электронной, телевизионной, компьютерной и роботехники.

С первых дней 1800 года начинается победное шествие вольтова столба по всем лабораториям физиков и химиков. 2 мая 1800 года англичане Никольсон и Карлейль, построив вольтов столб, открыли разложение воды гальваническим током.

В ноябре Г. Деви (1778–1829), английский химик и физик, показал, что вольтова батарея не работает, если жидкость, с которой соприкасается пара разнородных металлов является чистой водой. На этом основании он написал «...представляется разумным заключить, что окисление в ней (батарее) цинка и химические изменения, связанные с этим, служат каким-то образом причиной создаваемых ею электрических эффектов». То есть, было открыто химическое действие тока.

В 1801 году Л. Тенар открывает нагрев проводника (платиновой проволоки) протекающим по нему током от вольтова столба – было открыто тепловое действие тока.

В 1801 году Б.В. Петров обращается в администрацию медико-хирургической академии с рапортом о необходимости иметь в физическом кабинете вольтов столб: «...необходимо приобрести для оной

(академии) такой гальванический прибор, посредством которого было бы можно производить самые новые физико-медико-химические опыты, которыми многие европейские физики начинают теперь заниматься гораздо с большим прежнего рачением». Деньги были выданы, и был построен первый вольтов столб из 100 цинковых и медных пар кружков в диаметре не менее 250 мм. Он обошелся в 300 руб. Опыты с этим столбом не удовлетворили Петрова, и он вторично просит администрацию выделить средства, но уже на очень большую гальвани-вольтовую батарею: «...любопытные опыты, деланные наипаче с прошедшего 1800 года..., возбуждали весьма сильное во мне желание иметь столь выгодную и такой огромной величины сию батарею, чтобы оною можно было производить такие новые опыты, о получении счастливого успеха в которых я сомневался от употребления таких обыкновенных батарей, о каковых доселе объявляется во всех известных мне иностранных источниках».

Цитаты убедительно показывают: Петров предвидел, что только резкое увеличение мощности батарей может привести к новым открытиям. И он не ошибся.

Деньги – не малые! – снова были выделены, и уже в апреле 1802 года новый огромный вольтов столб был изготовлен. Батарея состояла из 4200 медных и цинковых кружков (то есть, 2100 гальванических пар), между которыми помещались бумажные кружки, пропитанные водным раствором нашатыря (электролита). Если бы столб располагался вертикально, он имел бы высоту 12 метров. Но Петров мудро (чтобы не вытекал раствор) расположил кружки горизонтально в нескольких специальных ящиках из красного дерева.

Петров произвел много серий опытов, которые описал в своей книге «Известие о гальвани-вольтовских опытах, которые производил профессор Василий Петров», изданной в 1803 году в Петербурге. Опыты, касавшиеся тепловых и световых действий тока, привели Петрова к открытию электрической дуги.

В статье VI книги («О некоторых светоносных явлениях, происходящих от гальвани-вольтовой жидкости») основное внимание уделено световым явлениям, происходящим между угольными электродами. Петров пишет, что «свет является по большей части в виде искр различной величины яркости».

Статья VII («О расплавлении и сжигании металлов и многих горючих тел, также о превращении в металлы некоторых металлических оксидов посредством гальвани-вольтовой жидкости») посвящена описанию светоносных явлений более продолжительных и стабильных в виде яркого пламени. Если взять два или три древесных угля «сообщен-

ными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому на расстояние между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медленнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может». Далее описываются опыты, когда при замене одного из углей на металл «является также больше или меньше яркое пламя..., а конец проволоки почти во мгновение ока краснеет, скоро расплавляется и начинает гореть с пламенем и разбрасыванием весьма многих искр по различным направлениям». Это и есть первое в мире описание явления, которое называется электрической дугой.

На стадии изготовления своей батареи, которая создавала электродвижущую силу порядка 1700 вольт и ток при коротком замыкании до ста (или даже больше) ампер, Петров первым был вынужден выполнить изоляцию приборов, покрывая медную проволоку слоем сургуча. Помня горький опыт академика Рихмана, он соблюдал технику электробезопасности, которой еще не было. Не было и приборов для измерения силы тока и напряжения, не было даже этих понятий, а дуга уже засверкала.

Могла ли электрическая дуга загореться раньше? Нет, не могла. Слишком малой мощности обладал вольтов столб до батареи Петрова. И даже не это главное. Главное в том, что при последовательном соединении гальванических элементов сопротивление внутри источника питания растёт, и ток короткого замыкания резко падает. Внешняя или вольтамперная характеристика батареи становится падающей, и ток горения дуги мало отличается от тока короткого замыкания. Это легко понять сейчас, а тогда просто так получилось, что простое увеличение элементов столба переросло в новое качество: искровой разряд перешел в дуговой, устойчивый мгновенный процесс искры превратился в устойчивый, длительно и стабильно существующий процесс, которым можно управлять и использовать во многих сферах деятельности человека.

Дуговой процесс для исследовательских целей в лабораториях физики и химии в тех же точно масштабах повторял и Г. Дэви, но уже 6 лет спустя, а демонстрировал публично в Лондоне 1813 году, то есть 10 лет спустя после публикации «Известия Петрова».

Работы с электрической дугой составляли малую часть исследований Петрова. Он первый увидел и тлеющий, и аномально тлеющий разряды в разряженных газах, исследовал процессы «холодного свечения» тел, люминесценции, горения, гниения, проводил метеорологические наблюдения и многое другое. Его долгая многогранная научная деятельность отражена в трех книгах, изданных медицинской коллегией, в трудах Академии наук и в Технологическом журнале за 1810–1826 годы. Тем не менее, его имя на долгое время было забыто.



**В** очерке, посвященном сварке, стоит упомянуть и члена-корреспондента Академии наук А.М. Шателена, который был членом, а потом и председателем VI электротехнического отдела Русского технического общества (РТО), которое много десятилетий, начиная с 1880 года, объединяло всех русских электриков. Шателен встречался с П.Н. Яблочковым, А.Н. Лодыгиным, Н.Н. Бенардосом. С Н.Г. Славяновым встречи происходили и в Перми, на Мотовилихе, и в Петербурге, куда Славянов часто приезжал. Долгое время А.М. Шателен работал в университете с А.С. Поповым. Будучи студентом, вместе с Поповым, тогда молодым ученым, ездил в Красноярск в экспедицию по наблюдению солнечного затмения, и, главное, был близким свидетелем всех работ Попова, приведших к изобретению радиотелеграфии.

В своей книге, в очерке о В.В. Петрове Шателен наряду с высокой оценкой значения его работ для России и всей науки, называет две причины забвения его имени. Первая – Петров все свои работы писал только на русском языке. Ни медицинская академия, ни Петербургская академия не переводили труды своих членов на европейские языки. Вторая причина кроется в духе и нравах Академии в начале XIX века. Характерно, что представление о привлечении Петрова к работам в системе Академии наук было выдвинуто русскими академиками, но группировка иностранных членов Академии, возглавляемая Крафтом и Фуссом, всячески противодействовали. И только в 1807 году Петрова наконец избрали адъюнктом (помощником профессора) по кафедре экспериментальной физики, в 1809 году – экстраординарным (опять-таки внештатным) академиком и в 1815 году – ординарным (действительным) академиком. И только после смерти Крафта. Но Фусс жил, и Петрова продолжали травить.

В истории науки и техники остался невыясненным факт, почему В.В. Петров не пропагандировал свое открытие, и только благодаря хорошо поставленной работе архива Академии наук его труды «не канули в Лету». Но в одном из документов он все же высказал уверенность, что «просвещенные и беспристрастные физики, по крайней мере некогда, согласятся отдать трудам моим ту справедливость, которую важность сих последних опытов заслуживает».

**В** длинной цепочке открытий, совокупность которых позволила подойти к изобретению электросварки, следует отметить еще несколько достаточно важных событий..

В 1802 году Д.Д. Романьози (1761–1835), итальянский физик-любитель и адвокат, открывает действие электрического тока на ферромагниты, наблюдая намагничивание стальной иглы гальваническим током от вольтова столба.

Немецкий физик И.В. Риттер (1776–1810) открыл поляризацию (отклонение электродного потенциала от равновесного значения при прохождении электрического тока) гальванического элемента. Пропущенная ток через подкисленную воду, он установил, что электроды, опущенные в электролит и отключенные от источника, снова дают после их соединения проводником электрохимическое разложение, но в обратном направлении. Так был открыт принцип действия аккумулятора, который сыграл важную роль при первых опытах электросварки Н.Н. Бенардосом.

В 1812 году русский военный инженер, физик-любитель, дипломат и востоковед П.Л. Шиллинг (1786–1837) реализовал свое первое изобретение – успешно осуществил на Неве взрыв подводной мины при помощи уголькового запала, соединенного проводником с берегом, где находился вольтов столб и замыкатель электрической цепи.

21 июля 1820 года датский физик Х.К. Эрстед (1777–1851) пришел к своему выдающемуся открытию влияния электрического тока на магнитную стрелку, о котором он сообщил в книжке на латинском языке «Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку».

Не было ни до того, ни после в научном мире такого бума – цепной реакции открытий. Почти все химики и физики, отложив свои текущие дела, стали воспроизводить, изучать и постигать это удивительно своевременное открытие. Как из рога изобилия посыпались доклады, сообщения, изобретения, открытия. Особенно преуспели французские ученые. Так уже в сентябре того же года профессор Политехнической школы в Париже А.М. Ампер (1775–1836) доложил об открытом им новом явлении – взаимодействии двух проводников с током. Так же он в первые предложил заменить термины «вольтаический ток» (тихий, идущий по проводникам) или «гальванический ток» (нужный при искровом разряде) на просто «электрический ток». В том же месяце Ф. Араго (1786–1853) подтвердил выводы Ампера и показал, что проволока, по которой течет ток, притягивает «опилки мягкого железа, как это сделал бы настоящий магнит».

В этом же, 1820 году немецкий физик Швейгер (1779–1857) изобретает мультипликатор, в котором подвешенная магнитная стрелка помещалась внутри катушки из медной проволоки с шелковой обмоткой. Тогда же формируется закон Био-Савара–Лапласа, закладываются основы электродинамики Ампером.

В 1821 году немецкий физик Т. Зеебек (1770–1831) открыл явление термоэлектричества – в цепи, состоящей из разнородных металлов, возникает электродвижущая сила, если температура мест соединений или спаев этих металлов различна. На этом явлении основано действие тер-

мопар, с помощью которых сварщики измеряют термоциклы в свариваемых металлоконструкциях.

В 1824 году Араго обнаруживает эффект магнитного вращения. «Если вращать медный диск вблизи магнитной стрелки или магнита, подвешенного таким образом, что он может вращаться в плоскости, параллельной плоскости диска; при вращении магнита диск следует за его движением», – писал позднее Фарадей.

В 1825 году английский артиллерист У. Стерджен (1783–1850) изготовил первый электромагнит.

В 1827 году немецкий физик Г. Ом (1787–1854) экспериментально установил основной закон электрической цепи, связывающий сопротивление цепи, электродвижущую силу и силу тока для замкнутой цепи.

29 августа 1831 году бывший ассистент Г. Дэви английский физик М. Фарадей (1791–1867) открыл явление электромагнитной индукции. Это открытие принесло Фарадею мировую известность и является одним из важнейших событий в науке. По сути, это зарождение электротехники и учения об электромагнитном поле.

С 1831 по 1870 годы наступает период разнообразного применения электромагнетизма для практических целей, завершившийся созданием первого промышленного генератора электрической энергии. Создаются разнообразные конструкции генераторов и электродвигателей. Дальнейшее развитие учения об индукции токов получило развитие в работах русского академика Э.Х. Ленца (1831–1879), который сформулировал «правило Ленца» и английского физика Д. Максвелла (1831–1879), который разработал теорию электромагнитного поля, что явилось теоретической основой радиотехники и других научных направлений.

Законы электромагнитных индукций показывают, что электродвижущая сила индукции возникает при *изменении* магнитного потока во времени (при замыкании, размыкании, изменении тока в индуцирующих проводниках, приближении и удалении магнита). Эти законы являются основой работы генераторов постоянного и переменного тока, а также импульсного трансформатора в опытах Фарадея и трансформатора переменного тока Яблочкова, а соответственно, всех выпрямителей, так как во всех них составной частью является трансформатор – либо промышленной частоты, либо высокочастотный.

Ленц сформулировал принцип обратимости электрических машин, то есть способность их работать в качестве как генераторов, так и электродвигателей (1838 г.). Кроме того, Ленц является одним из соавторов закона Джоуля-Ленца (1842 г.) о выделении тепла в проводнике при прохождении тока. Этот закон, являясь частным случаем закона сохранения энергии, применяется повсеместно, где имеет место применение электроэнергии.

Несмотря на принцип обратимости электрических машин, история развития электромагнитных генераторов отлична от истории развития электродвигателей. Здесь рассмотрим только историю развития генераторов, так как их развитие влияло на дальнейшее исследование электрических разрядов в газах и на промышленное применение дугового разряда.

В первом опыте по электромагнитной индукции Фарадей использовал деревянный каркас в виде цилиндра, на который были намотаны две изолированные друг от друга обмотки. Первая обмотка была соединена с гальванической батареей, а другая – с гальванометром. При замыкании цепи в первой обмотке стрелка гальванометра отклонялась в одну сторону, а при размыкании – в другую. Во втором опыте Фарадей заменил деревянный цилиндр на железное кольцо (тор): стрелка гальванометра отклонялась сильнее. Так была создана модель импульсного трансформатора.

В последнем разделе первой серии опытов Фарадей объяснил явление, открытое Араго еще в 1824 году, и указал, что эффект Араго дает возможность получить «новый источник электричества». Между полюсами магнита вращался (чем угодно) медный диск. Скользящие контакты у периферии и центра диска отводили индуцируемый (создаваемый, генерируемый) при вращении диска ток к цепи, содержащей гальванометр.

«Этим было показано, – пишет Фарадей, – что можно создать постоянный ток электричества при помощи постоянных магнитов». Так была создана модель первого электромагнитного генератора постоянного тока – «диск Фарадея» или униполярная динамо-машина.

**И**стория развития генераторов условно может быть разбита на три этапа. **Первый этап** (1831–1851) характеризуется применением постоянных магнитов для получения магнитного поля. При вращении проводников в виде катушек с намотанной на них изолированной проволокой эти проводники двигались то параллельно, то перпендикулярно к магнитному полю постоянного магнита. Когда катушка двигалась параллельно, магнитный поток не менялся – ЭДС равна 0. Когда катушка двигалась перпендикулярно северному полюсу, то возникала ЭДС одного направления, а когда перпендикулярно южному полюсу, то ЭДС меняло направление на обратное, то есть возникал переменный синусоидальный ток, изменяемый по величине и по направлению. Поэтому вторым существенным элементом генераторов первого этапа явились устройства для выпрямления переменной ЭДС в постоянный ток – выпрямляющие коммутаторы – коллекторные пластины, с которых ток снимался посредством роликов. В генераторе из лаборатории Ленца было пять катушек, которые вращались вручную около полюсов постоянного магнита через ре-

дуктор для ускорения вращения. Обмотки каждой катушки соединялись с пластинами барабанного коммутатора, по которому скользили контакты.

В генераторе фирмы «Альянс» было установлено 24 постоянных магнита по восьми радиусам, по три в ряду. У полюсов этих магнитов проходили, вращаясь, 32 катушки с проводником. Ток, генерируемый в катушках, поступал к 32 пластинам коллектора, с которых снимался роликами во внешнюю цепь для питания током дуговых фонарей маяков. Вращение осуществлялось от паровой машины. В 1857–1867 годах в эксплуатации находилось около 100 таких машин.

**Второй этап** (1851–1867) связан с отказом от постоянных магнитов и заменой их электромагнитами с независимым возбуждением электромагнитов или от гальванической батареи, или от маломощного генератора первого этапа с постоянными магнитами. Примером здесь может служить генератор с независимым возбуждением англичанина Уайльда, состоящий из двух генераторов. Первый генератор имеет постоянные магниты, а второй – электромагниты с обмоткой, питаемой током от первого генератора. Оба генератора приводятся в движение от одной паровой машины. Вскоре было замечено, что машина не только генерирует ток, но и, будучи питаемой током возбуждения от собственной катушки, вследствие явления остаточного магнетизма может генерировать ток от состояния покоя.

В 1866 году английский инженер К.Ф. Варли (1828–1883), а в 1879 г. немец Э.В. Сименс (1816–1892) и англичанин Ч. Уитстон (1802–1875) в один и тот же день получили патенты на генераторы с самовозбуждением. На основе генератора Сименса и других изобретателей Славянов построил свой первый генератор на ток до 300 А. Таким же генератором, но меньшей мощности, пользовался и Н.Н. Бенардос.

Началом **третьего этапа** можно считать 1871 год, когда французский изобретатель, бельгиец по происхождению З.Т. Грамм (1826–1901) построил генератор с самовозбуждением, придав якорю генератора форму кольца, состоящего из пучка проволоки. На это кольцо наматывались катушки-секции, каждая из которых соединялась с парой пластинок коллектора. Неподвижные обмотки электромагнитов на статоре питались током якоря последовательно: внешняя цепь – коллектор – якорь – коллектор – электромагниты – внешняя цепь. Кольцевидный якорь снижал пульсации тока, увеличивая КПД, снижал вес и размеры генератора. Этот генератор явился прототипом для второго генератора Н.Г. Славянова на ток до 1000 А.

Теперь остается рассмотреть, где и когда использовался дуговой разряд после опытов Петрова и Дэви. Как и предсказывал еще В.В. Петров, дуговой разряд стал использоваться и для освещения, и для плавления и восстановления металлов. Первые попытки применения дугового разряда выявили серьезные осложнения. Угольные электроды испарялись и, как

следствие, увеличивался дуговой промежуток. Соответственно, увеличивалось напряжение и происходило падение тока дуги, что вызывало снижение силы света и освещенности. Кроме того, применение все тех же гальванических элементов малой мощности не позволяло выходить с дуговым разрядом в производственные цеха. Только в лабораторных условиях ученые продолжали использовать дуговые разряды.

В 1844 году французский физик Ж.Б.Л. Фуко (1819–1868) создал дуговую лампу для освещения предметного стола микроскопа с ручным регулированием расстояния между угольными электродами. В дальнейшем все внимание изобретателей дуговых ламп было направлено на разработку автоматической системы регулирования расстояния между электродами. Так уже в 1846 году француз Аршро предложил электромагнитный регулятор. В его лампе верхний электрод был неподвижен, а нижний был укреплен на сердечнике электромагнита и удерживался в центре электромагнита грузиком с тросиком, перекинутым через свободно вращающийся ролик, укрепленный выше электромагнита. При увеличении расстояния между электродами сопротивление цепи питания электромагнита возрастало, действие электромагнита ослабевало, грузик поднимал нижний электрод, и длина дуги восстанавливалась. Но ввиду сложности эта лампа не получила распространения.

Применение дуги для плавления металлов впервые было применено французским ученым Дебре в 1849 году. Он использовал изготовленный из угля тигель, подключенный к положительному полюсу батареи. Отрицательный был подключен к электроду. Результаты исследований он опубликовал в работе «Плавление и искрение огнеупорных тел».

Ровно через 50 лет после открытия дугового разряда французский химик Пишон получил привилегию (1853 г.) на первую электрическую печь косвенного нагрева двумя дугами для плавления металлов и восстановления их из окислов. До 1878 года было запатентовано свыше 20 конструкций печей для плавления чугуна и стали, но ни одна из них не вышла в производство, так как источниками питания были все те же гальванические батареи. И только в 1879 году немецкий промышленник и изобретатель Э.В. Сименс изготовил два типа электрических дуговых печей (прямого и косвенного действия). В этих печах Сименс плавил сталь и другие сплавы, используя свою динамо-машину, приводимую в действие паровой машиной, но и эти опыты не вышли за пределы лаборатории, так как эти печи науглероживали стальную ванну угольным электродом.

Большой вклад в изучении дугового разряда внес русский физик, электротехник, профессор Дмитрий Александрович Лачинов (1842–1902). С 1867 по 1880 годы Д.А. Лачинов изучал свойства электрической дуги, проводя опыты по определению силы тока, силы света, величины сопро-

тивления и длины дуги при ее горении в различных газах и в вакууме. Особенно ценными для сварщиков оказались работы Д.А. Лачинова по введению в пламя дуги различных веществ и химических соединений. В частности, в этих опытах было установлено, что введение калия значительно снижает сопротивление дуги, а введение натрия лишь незначительно изменяет его. Объяснение этого явления было дано Д.И. Менделеевым при обсуждении сообщения в Русском физико-химическом обществе: калий, соединяясь с углеродом при высокой температуре, изменяет химическую реакцию, сопровождающую образование дуги, тогда как натрия в такое соединение не вступает. Сейчас мы знаем, что здесь сказывается резкое изменение эффективного потенциала ионизации. Промежуточные результаты своих исследований в 1877 году Лачинов доложил в Русском физическом обществе, окончательные результаты были представлены в 1880 году на собрании вновь образованного VI отдела РТО в виде доклада, в котором были изложены основы теории электрической дуги.

Это было первое в мире систематическое изложение теории горения дуги, раскрывающую физико-химическую картину и природу дугового разряда и существенные особенности этого разряда по сравнению с другими разрядами в газах при различных давлениях. В ходе работ по изучению свойств дуги Д.И. Лачинов одним из первых электротехников стал проводить опыты по практическому использованию ее в медицине. Так к 1873 году он разработал медицинский малогабаритный дуговой фонарь высокой яркости, называемый диафаноскопом, для освещения полостей тела при хирургических операциях. Особенностью этого фонаря являлось то, что в нем дуга горела в проточной воде. Таким образом диафаноскоп давал достаточную силу света, а поверхность его оставалась холодной. В будущем, когда Д.А. Лачинов ознакомился с изобретением «электрогестаста» Н.Н. Бенардоса, он подсказал ему возможность ведения сварки под водой. Но работы по подводной сварке были успешно внедрены научной школой академика К.К. Хренова только в XX веке.

**П**ока источник питания и потребитель находились рядом в лабораториях и на производствах, проблем с передачей тока на большие расстояниях не было. К 1880 году, когда электрический ток нашел много практических применений и был предпринят ряд попыток передать ток на десятки или сотни метров, специалисты обнаружили, что имеет место тем больше потери электроэнергии, чем выше дальность передачи ее. Единственный путь был, казалось бы, – увеличение сечения проводов. Но это колоссальные капитальные и эксплуатационные расходы. За разработку теории этой проблемы взялся Д.А. Лачинов, и в первых номерах журнала «Электричество» за 1880 год был опубликован научный

труд «Электромеханическая работа и элементарная теория электродвигателей (динамоэлектрических машин)». Этот труд открыл электрикам всех стран новый путь и подход к проблеме передачи тока на неограниченные расстояния.

Сегодня, зная, что мощность это произведение тока на напряжение и зная закон Джоуля-Ленца, нам легко понять, что при заданной мощности необходимо повысить напряжение, уменьшая во столько же раз ток, и тогда в квадрате снижаются потери. В то время это было далеко не ясно, и Лачинову пришлось очень много работать, чтобы решить эту проблему и уйти от громадных потерь и материальных затрат.

Занимаясь разработкой вопросов, связанных с передачей электроэнергии на расстояния, Д.А. Лачинов разработал оригинальную конструкцию регулятора напряжения – «экономизатор электрического освещения» – который в зависимости от числа введенных в цепь ламп (то есть величины нагрузки) менял либо ход паровой машины (число оборотов первичного приводного двигателя), либо перемещавшего магниты индуктора, то есть вызывавшего изменение магнитного поля, в котором вращается якорь динамо-машины. А ведь это первая удачная обратная связь от нагрузки и на привод генератора, и на сам генератор. Н.Г. Славянов в свой первый генератор ввел этот экономизатор Лачинова.

**К**ниги и журналы по электротехнике довольно подробно характеризуют техническую сущность и практическую ценность того, что сделал Павел Николаевич Яблочков (1847–1894) и как инженер, и как ученый-электротехник. Он родился в имении своего отца в Сердобском уезде Саратовской губернии. В 1866 году Яблочков окончил военно-инженерное училище в Петрограде, а в 1869 году – техническое гальваническое заведение, где более глубоко изучал минное и телеграфное дело. В 1872 году Яблочков, неудовлетворенный службой в саперном батальоне, порывает с военной карьерой и отдается успешной и плодотворной изобретательской и практической электротехнической деятельности. В Москве он поступил на должность помощника, а потом и начальника телеграфной службы Московско-Курской железной дороги. В том же году Яблочков принял участие в организации Московской политехнической выставки, а затем активно участвовал в работах политехнического музея, созданного на базе экспонатов этой выставки. Здесь он знакомится с В.Н. Чиколевым и другими членами кружка электриков-изобретателей и любителей электротехники. Здесь же он показал свои первые наработки и ознакомился с опытами по электрическому освещению и, в частности, с опытами А.Н. Лодыгина по освещению улиц и помещений лампами накаливания. В тот же период времени Яблочкову пришлось по долгу службы наблю-



дать целую ночь за дуговым фонарем, установленном на передней площадке паровоза, чтобы освещать путь перед поездом с царской особой. Здесь ему пришлось убедиться в несовершенстве дуговых ламп с регуляторами лично. В конце 1874 года Яблочков оставил службу на телеграфе и вместе с новыми единомышленниками организовал мастерскую физических приборов, где они могли осуществить свои замыслы. По воспоминаниям одного из современников, «эта мастерская была центром смелых идей и электротехнических мероприятий: разрабатывались детали на динамо-машины Грамма, совершенствовались новые системы регуляторов электрического света. Здесь перебивал весь цвет основателей электротехники. Здесь было все, кроме практичности...»

Однажды в мастерской проводился опыт по получению хлористых веществ для отбеливания ткани путем электролиза поваренной соли. Два электрода в солевом растворе, расположенных параллельно друг другу, случайно замкнулись нижними концами. Вспыхнула дуга, которая не прерывалась, пока оба электрода не выгорели. Так был найден принцип создания дуговой лампы без всякого регулятора.

Однако в это же время финансовые дела мастерской резко ухудшились, и Яблочков осенью 1875 года уезжает в Париж. Там он встречается с известным специалистом по телеграфии академиком Л.Ф.Ц. Бреге, и тот, плененный конструкторскими способностями Яблочкова, приглашает его в свои мастерские по производству телеграфных аппаратов и электрических машин. В свободное от работы время Яблочков интенсивно занимается изобретательством и получает свой первый патент на электромагнит, основная идея которого – компактная катушка с плоскими шинами, согнутыми «на ребро» – до сих пор реализуется в сварочных трансформаторах типа ТДМ и сварочных выпрямителях типа ВД с подвижными обмотками.

Уже в марте 1876 года П.Н. Яблочков получил второй французский патент на свою электрическую свечу дуговую без регулятора, принцип которой был установлен еще в Москве. «Свеча Яблочкова» или «русский свет», как ее позже стали называть, была, прежде всего, проста. Два параллельно поставленных вертикальных угольных стержня имели по всей длине прокладку из гипса или каолина. Каждый из углей своим нижним концом зажимался в отдельную клемму. Эти клеммы соединялись с полюсами батареи или присоединялись к генератору постоянного тока. На верхних концах накладывалась тонкая угольная пластинка-запал; при пропускании тока запал сгорал, и зажигалась дуга, даруя свет. Сначала, когда использовался постоянный ток, угли горели с различной скоростью. Приходилось брать анод большего диаметра, чем катод. Чуть позже Яблочков решил и эту проблему, применив сначала коммутатор для сме-

ны полярности электродов, а затем перешел на тогда практически не применявшийся переменный ток. Через месяц на выставке физических приборов в Лондоне эта свеча произвела необыкновенный фурор, и вся мировая пресса и технические журналы были полны описаниями нового источника света. Яблочков предлагал свое изобретение даром русскому Военному министерству, но ему на это предложение даже не ответили, и это заставило Яблочкова уступить Французскому коммерческому обществу все права на привилегию.

Две проблемы стояли перед изобретателем. Во-первых, перейти на переменный ток: для этого надо было создать генератор переменного тока. Таковой, принципиально не отличающийся от современных генераторов переменного тока, и был изготовлен на заводе Грамма. В этом генераторе Яблочков не упустил из виду и задачу о «дроблении света» – разделение общего числа свечей, питаемых от одного генератора на отдельные группы из небольшого числа свечей (4, 6, 8 и т.д.), соединенных последовательно в каждой группе. По существу этот генератор был первой машиной, давшей ряд многофазных токов. Цепь каждой фазы была независима от других, точно также, как это было в двухфазных генераторах Н. Тесла, созданных им гораздо позже. Взаимное соединение цепей токов разных фаз было осуществлено впервые в мире значительно позже при введении в практику трехфазных токов М.О. Доливо-Добровольским.

Вторую проблему, связанную также с дроблением тока, то есть питанием нескольких ламп от одного генератора переменного тока, Яблочков решил в 1876 году путем применения индукционных катушек, включенных в общую цепь последовательно, а к каждой катушке подвел вторую катушку, которая питала свечу. Так от одного генератора зажглось много свечей. Проблема была решена с блеском, а попутно было сделано еще более важное изобретение – родился трансформатор переменного тока, который открыл новые горизонты в электротехнике. Правда он был в виде двух катушек, но после введения в них замкнутого сердечника, трансформатор стал устройством с высоким КПД, и главное, он позволял менять напряжение переменного тока с любым коэффициентом трансформации, что легко создавало условия для передачи переменного тока на неограниченные расстояния.

Менее известно, что П.Н. Яблочков в 1877 году получил еще один патент – на систему распределения тока при помощи конденсаторов (с параллельным включением электрических свечей в цепь). Эта система была первым в мире случаем практического использования конденсаторов. Она позволила впервые выявить их действие в разветвленных цепях переменного тока и поставила вопросы о роли емкости и о коэффициенте

мощности. Таким образом, Яблочков построил и резонансный трансформатор. В современных сварочных выпрямителях инверторного типа применение резонансных преобразователей имеет ряд существенных преимуществ: надежность, самоограничение мощности, высокий КПД.

В 1877 году Яблочков изобрел (французский патент № 119702) индукторную машину, которую он назвал «магнито-динамо-электрической». В ней не было подвижных обмоток: и намагничивающая обмотка и обмотка якоря, в которой индуктировалась ЭДС, оставались неподвижными. Вращался зубчатый железный диск (сейчас – ротор), менявший при вращении магнитный пульсирующий поток, пронизывающий обмотку якоря. Это ничто иное, как современный бесколлекторный (вентильный) генератор, применяющийся все больше и больше в сварочных агрегатах.

В 1878 году П.Н. Яблочков принял участие во Всемирной парижской выставке. Снова был огромный успех, и он решил вернуться в Россию. Для организации электрических работ в России ему пришлось выкупить права на свои патенты у французского общества, отдав свои акции этому обществу, оставшись без средств к существованию.

Переехав в Петербург, Яблочков основал общество под названием «Яблочков-изобретатель и К°, товарищество электрического освещения и изготовления электрических аппаратов и машин» и создал электротехнический завод на Обводном канале. РТО организовало публичную лекцию «Об электрическом освещении», в ходе которой Яблочков впервые в мире поставил вопрос о централизованном производстве электрической энергии на электрических фабриках с тем, чтобы она, как и вода по трубам, пришла в каждый дом и цех. Эта идея реализована повсеместно. Завод Яблочкова получил много заказов. Группой членов РТО в составе Чиколева, Лодыгина, Лачинова и других во главе с Яблочковым был поднят вопрос об организации особого (VI) Электротехнического отдела и в 1880 году такой отдел был организован. В том же году VI отделом было принято два решения: первое – об издании специального журнала, посвященного вопросам электротехники (так возник журнал «Электричество») и второе – об открытии первой в мире электротехнической выставки, целью которой было «показать обществу современное состояние развития различных отраслей электротехники». Выставка имела большой успех. Но дела товарищества «Яблочков-изобретатель и К°» шли все хуже и хуже: сказывалась неопытность Яблочкова в коммерческих делах. В конце 1880 года Яблочков уехал обратно в Париж уже нищим. У него было новое изобретение – динамо-машина, которую он продал своему же Обществу в Париже и снова поступил в это Общество инженером.

В Париже Яблочков развил бурную деятельность по подготовке к открытию Первого международного конгресса электриков и Первой

международной электрической выставки в 1881 году. С этого момента начинается современная электротехника. На этой выставке одновременно демонстрировалось и освещение по системе Яблочкова с применением переменного тока, трансформаторов, конденсаторов и свечей, а так же система электрического освещения Эдисона, с его лампами накаливания, быстро распространившаяся по всему миру. Осознав преимущество изобретения Эдисона, Яблочков перестал заниматься электрическим освещением и переключился на разработку и совершенствование электрических машин, аккумуляторов и гальванических элементов большой мощности. Часть своих новых изобретений продал во Франции, а часть в Англии, и это позволило покинуть службу во французском Обществе и посвятить все свои силы и время изобретательству.

Дальнейший прогресс дуговых ламп был связан с улучшением регуляторов. На этом пути важное значение имели труды Владимира Николаевича Чиколева (1845–1898). Он родился в селе Пески Смоленской губернии. Учился сначала в Московском кадетском корпусе, а потом перешел в Московское Александровское военное училище, но, не кончив его, поступил вольнослушателем на физико-математический факультет Московского университета, который окончил в 1867 году. Сначала работал лаборантом в Петровской земледельческой (ныне Тимирязевской) академии в Москве, а с 1870 года перешел в Московское техническое училище, где он увлекся изобретательской деятельностью. Разработал электрический привод для швейных машин, сконструировал электродвигатель и внес улучшения в некоторые гальванические элементы. Свои работы он демонстрировал на Московской политехнической выставке 1872 году и за свои изобретения получил золотую и серебряную медали. В этой выставке он принял участие как член Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, состоящего при Московском университете. На заседаниях этого Общества он познакомился с отставным саперным офицером П.Н. Яблочковым и оказал ему моральную поддержку, которая важна для человека, вступившего в новую среду. В 1869 году В.Н. Чиколев усовершенствовал дуговые лампы Фуко и Серена. Для этого он применил принцип дифференциального действия двух обмоток, включаемых в цепь лампы: одна последовательно с угольными электродами, а другая – параллельно им. Первый экземпляр был изготовлен в 1874 году в мастерской, только что организованной Яблочковым. В 1876 году Чиколев переезжает в Петербург для службы в Главном артиллерийском управлении, где по заказу артиллерийского ведомства через год было выполнено еще пять усовершенствованных ламп и к 1879 году создал свою дифференциальную лампу, которая получила широкую известность не только у нас, но и за рубежом.

Идея дифференциальной лампы Чиколева была связана с проблемой «дробления света», то есть с разрешением вопроса питания ряда ламп от одного общего источника. Все известные в то время регуляторы требовали каждый для своего питания отдельный источник. При включении в цепь нескольких регуляторов механизмы их не могли поддерживать ровного горения лампы. Дуги в каждой лампе получались различной длины, а в некоторых электроды даже замыкались. Яблочков, как мы помним, вообще отказался от всяких регуляторов, а проблему дробления света решил, используя трансформатор и конденсатор. Чиколев стал использовать дифференциальное действие двух электромагнитных механизмов, из которых один стремился укоротить дугу, а другой, наоборот, удлинить. Идея Чиколева живет и сейчас в автоматических системах. И идея Яблочкова (параллельное расположение электродов) жива при ручной трехфазной сварке.

В 1882 году Чиколев получил русскую привилегию (№7185) на регулятор, в котором два электродвигателя, включенные дифференциально, действовали на электроды, сводя или разводя их. Через год он получает привилегию (№2610) на новый дифференциальный регулятор, в котором исполнительными механизмами были уже не электродвигатели, а электромагниты, которые воздействовали на электроды через рычажные механизмы. Этот регулятор дифференциального действия использовал в своем плавильнике Н.Г. Славянов, существенно усовершенствовав его. Работая в артиллерийском ведомстве, В.Н. Чиколев много сил и времени посвятил применению электротехники в военном деле (особенно в прожекторной технике, где дуговой разряд используется и поныне), а так же работе VI отдела РГО и в журнале «Электричество».

**Р**усский изобретатель Николай Николаевич Бенардос (1842–1905) первым предложил применять дуговой разряд для электрической сварки металлов. Родился он в имении потомственных военных в деревне Бенардосовке Херсонской губернии. Получив домашнее образование, поступил в 1862 году на медицинский факультет Киевского университета, а в 1866 году оставил университет и поступил в Петровскую земледельческую академию в Москве.

Еще в имении отца юноша освоил столярное, слесарное и особенно кузнечное дело. Обучаясь в академии, он разработал ряд изобретений сельскохозяйственной техники. В это же время он знакомится с группой молодых энтузиастов, изучавших электричество, и основательно изучил источники питания и дуговые лампы. В 1867 году, взяв академический отпуск, он посетил Всемирную выставку в Париже, где наряду с достижениями сельскохозяйственной техники ознакомился с новейшими раз-

работками применения электричества для нагрева и освещения. Весной 1869 года Н.Н. Бенардос оставил академию и занялся постройкой усадьбы «Приволье» в Костромской губернии. В мастерских усадьбы изготавливались различные инструменты и сельскохозяйственное оборудование. Недалеко от усадьбы «Привольное» находился завод по производству аккумуляторов, угольных изделий и электродуговых ламп. Познакомившись с владельцем завода А.И. Бюксенмейстером, Николай Николаевич стал серьезно экспериментировать и с аккумуляторами, и с электрической дугой. В распоряжении изобретателя был локомотив – комбинация парового котла с паровой машиной. С его помощью заряжалась батарея аккумуляторов. Существовавшие аккумуляторы были маломощны, и Бенардос занялся проектированием и изготовлением более мощных. Имеются сведения, что уже в это время он использовал электрическую дугу для подогрева кромок стальных листов для осуществления соединения этих листов кузнечной сваркой.

В 1876 году за границей на выставке Н.Н. Бенардос познакомился с П.Н. Яблочковым и в последующие годы часто сотрудничал с ним. Оба этих плодотворных изобретателя абсолютно не обладали житейской практичностью, коммерческой жилкой в финансовых вопросах внедрения своих изобретений. К тому же, Яблочков имел «широкую русскую душу» и, удачно продав очередное блестящее изобретение, быстро тратил деньги как на свои домашние лаборатории, так и, по свидетельству жены, на «второстепенные нужды».

Н.Н. Бенардос был одним из крупнейших изобретателей в мире – ему принадлежит около 200 изобретений практически во всех сферах деятельности человека, но, как и почти все русские изобретатели, практически никогда не имел реальных доходов и выгод от своих изобретений, но имел в лучшие годы хотя бы моральное удовлетворение. Большие расходы привели к тому, что жизнь в Привольном становилась все менее привольной. В феврале 1880 года он подает прошение на имя министра внутренних дел об устройстве на государственную службу, но ответа не получил. Зато в том же месяце Бенардос был принят на службу в товарищество «Яблочков-изобретатель и К°». В Петербурге он делает ряд изобретений для изолирования кабеля лентой и проволоки нитками и занимается внедрением электродугового освещения, а так же готовится к участию в Международной электротехнической выставке и Первому международному конгрессу электриков в Париже в 1881 году. В Париже Бенардос, как и Д.А. Лачинов и как многие другие иностранные электротехники, не имеющие своих лабораторий, проводил свои эксперименты в частной лаборатории «Электрисьен», совладельцем которой был русский подданный Н.И. Кабат, адвокат и изобретатель, знакомый им по Петер-

бургу. И Лачинов, и Бенардос работали над своими конструкциями аккумуляторов. Оба отдали Кабату свои привилегии. Лачинов – на способ получения губчатого свинца, и Кабат не воспользовался этой привилегией, но с успехом взял патент на изобретенный Бенардосом гофрированный аккумулятор и на этом, как писал позднее Бенардос, «Кабат нажил себе 800 000 франков».

О первых опытах Бенардоса во французском Электротехническом словаре Дюмона отмечается: «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».

Сущность способа сварки по методу Бенардоса состояла в том, что с одним зажимом источника питания соединялись свариваемые металлы, а другой зажим присоединяется к угольному или графитовому стержню-электроду, вставленному в особую рукоятку, которую держал в руке сварщик. При замыкании электрода на изделии ток в цепи максимальный, металл в месте контакта нагревается, испаряется, и при отведении электрода от изделия зажигается дуга, под действием которой металл у места сварки плавится, и металлы сливаются в одну общую ванну и кристаллизуются в виде шва или валика.

Почему же Бенардос не подал заявку в том же году, а лишь спустя почти четыре года? Дело в том, что патентование стоило дорого, и главное: если за сравнительно короткий срок идея не была реализована, то владелец патента лишался своих прав на него. Бенардос не имел средств на уплату патентных пошлин и организацию компании или товарищества по эксплуатации. Кроме того, очевидно, он понимал, что его способ недостаточно отработан и в электрическом, и техническом отношении, чтобы осуществить его промышленное внедрение. Эти годы были, пожалуй, самыми продуктивными в жизни Бенардоса. За это время им было разработано около 50 изобретений и, главное, разработан новый тип аккумулятора и предложена электрическая схема питания и регулирования сварочной дуги.

В 1885–1887 годах Н.Н. Бенардос получает патенты на свое изобретение во всех промышленно развитых странах Европы, США и русскую привилегию в 1886 году. Свой способ сварки автор назвал «электрогефест», и под этим же брендом было создано товарищество. В свою очередь товарищество «Электрогефест» организовало показательные мастерские, где выполнялись сварочные работы по способу Бенардоса.

Новый способ обработки металлов привлек внимание ученых-электротехников не только русских, но и иностранных, а также инженеров железнодорожного транспорта. Н.Н. Бенардос мало публиковал сведений о своих изобретениях и находках, но, к счастью, осталось много сведений об «Электрогегесте» из публикаций Д.А. Лачинова, Р. Рюльмана, С.Э. Кордеса и многих других. В частности, профессор Р. Рюльман отмечал, что многие исследователи пытались использовать электрическую дугу для плавки металлов всех видов, но никому не удалось разработать способ до практического применения в промышленности. Причины в том, что одни использовали дугу косвенного действия, другие применяли прямую полярность, а третьи не нашли способ регулировать процесс и либо прожигали металл, либо только нагревали, не доводя до плавления. Основная заслуга Бенардоса, по мнению Рюльмана, состояла в том, что обрабатываемый металл сам был электродом с отрицательным полюсом и дуга, горящая между угольным электродом и изделием, формирует шов при условии регулирования и управления током и напряжением дуги как источником питания перед сваркой, так и длиной дуги вручную в процессе сварки.

Сварочная установка для питания трех постов сварки на заводе Струка в Петербурге состояла из парового котла, паровой машины мощностью 18 л.с. которая приводила в движение динамо-машину завода Сименса и Гальске напряжением 120 В и током 100 А. Динамо-машина питала одновременно 500 аккумуляторов, которые были поставлены в 10 рядов; в каждом ряду 50 аккумуляторов соединены последовательно; 10 рядов введены в цепь параллельно. В сварочную цепь включены вертикальные коммутаторы для увеличения рядов параллельного соединения и горизонтальные коммутаторы для введения в цепь последовательно из каждого ряда. С помощью одного штепселя коммутаторами можно ввести только по 5 аккумуляторов. Аккумулятор представлял собой четырехугольный стеклянный сосуд весом 16 кг с электролитом из воды и серной кислоты с удельным весом 1,25, в которую нагружено 9 свинцовых пластин, из которых пять являются катодами и четыре – анодами.

Применение такого источника питания в способе «Электрогегест» имеет ряд существенных и преимуществ, и недостатков. Во-первых, заряжая аккумуляторы от динамо-машины в  $I = 100$  А и  $U_0 = 120$  В за счет батареи аккумуляторов, можно получить  $I_d = 500$  А, то есть, при одновременной работе и генератора, и батареи общая мощность увеличивается в 5 раз по сравнению с работой одного генератора. Во-вторых, если цепь замкнута, то и генератор, и паровая машина работают без нагрузки с минимальными потерями. В-третьих, имеется возможность, работая штепселями двух коммутаторов, менять в широких пределах и напряже-



ние холостого хода, и внутреннее сопротивление системы генератор-аккумулятор с малыми шагами между каждой ступенью параллельно-последовательного переключения аккумуляторов. И наконец, самое главное, имеет место крутопадающая внешняя характеристика источника питания, при которой имеет место устойчивый процесс горения дуги. Чтобы в полной мере понять последние фразы, необходимо вспомнить современные физико-химические представления о материи и формах ее движения.

**К** началу XIX века было открыто около 30 химических элементов, и в 1811 году шведский химик И.Я. Берцелиус (1779–1848) разделил все элементы на металлы и неметаллы (металлоиды). Несколько раньше, в 1807 году английский ученый Т. Юнг (1773–1829) ввел в науку понятие и термин «энергия», выделив его из многозначного понятия «сила», под которым подразумевалась и механическая сила, и энергия, и работа, и количество движения.

В 1845–1847 годах получил обоснование закон сохранения количества энергии при взаимопревращениях ее видов в изолированных системах – всеобщий закон природы. Только с этого момента в полной мере осознается колоссальная роль энергии в жизни и прогрессе человеческой деятельности.

В 1871 году русский ученый Д.И. Менделеев (1834–1907) на основе открытого им Периодического закона изменения свойств элементов создал Периодическую систему (таблицу) элементов, носящую его имя.

Когда были разработаны единицы измерения электромагнитных величин и созданы теоретические основы электротехники, то возникли новые понятия о характеристиках основных элементов электрических цепей – источников питания и потребителей электроэнергии. Внешняя или вольтамперная характеристика источника питания (ВАХ ИП) это зависимость напряжения на выходных клеммах источника в функции тока при неизменном положении регулятора и при изменении сопротивления во внешней цепи. Каждому дуговому процессу присуща та или иная ВАХ дуги.

Вооружившись современными теоретическими основами особенностей горения электрической дуги, можно дать анализ причин возможностей получения и использования дуг в XIX веке. Первые генераторы с электромагнитными полюсами с независимым возбуждением имели жесткие ВАХ ИП и дуговые процессы были неустойчивыми до тех пор, пока эмпирически не пришли к идее введения в цепь балластного (лишнего) сопротивления, которое, создавая падающую ВАХ ИП, делало

процесс устойчивым. Это стали применять в дуговых лампах и в прожекторной технике.

В исследовании дугового разряда царил эмпиризм – практика опережала научные разработки. Использование дугового разряда в производстве зарождалось в лабораториях (В.В. Петров, Г. Дэви, Лачинов и др.), но наибольший импульс исходил от практиков-изобретателей, вооруженных знаниями по электротехнике (В. Сименс, В.Н. Чиколев, П.Н. Яблочков, Н.А. Бенардос, Н.Г. Славянов). Первые успехи в применении дуги были достигнуты с начала в маломощной технике электроосвещения, и лишь потом – в деле обработки металлов от более мощных источников питания.

Н.Н. Бенардос располагал источниками питания малой и средней мощности, поэтому для питания дуги выбрал единственно правильный, компромиссный путь: от двух источников, включенных параллельно в сварочную цепь – маломощный генератор и батарею в 500 аккумуляторов, включенных между собой и параллельно и последовательно.

Судя по многочисленным публичным выступлениям и журнальным публикациям, до 1888 года мнения о достоинствах «электрогефеста» разделились. Ученые, физики и электротехники, как правило, отзывались восторженно, а вот производственники – двояко: одни одобряли, другие относились с недоверием – уж очень большие затраты требовались в то время на освоение и применение данного метода .

**Н**иколай Гаврилович Славянов, получив блестящую, самую лучшую в России инженерную подготовку в Петербургском Горном институте, быстро адаптировался на заводах Урала: сначала в Воткинске и в Омутнинске, а с 1883 года и в Перми. Имея фундаментальную подготовку по металлургии, он много занимался по роду своей деятельности изготовлением и ремонтом механического оборудования. Одновременно в цехах уживались достаточно и сложные механизмы и устройства, и ручной малопроизводительный физический труд. Поэтому на производстве были и квалифицированные высококлассные специалисты, и малограмотные рабочие. Славянов в своей повседневной работе очень удачно перенимал опыт лучших рабочих при выполнении конкретных работ. Славянов не считал зазорным для себя и обучение определенным навыкам литья и ремонта оборудования неквалифицированных рабочих. К сожалению, он обладал незavidным здоровьем и дважды получал многомесячные отпуска для лечения. В отпуске в период работы на Воткинском заводе он лечился в пределах средней полосы России, но попутно посещал и многие отечественные предприятия для повышения своего профессионального мастерства. Второй свой четырехмесячный отпуск уже при работе на Пермских пушечных заводах он провел в Западной Европе, где тоже по-

сещал родственные предприятия Германии и Бельгии, а также международные выставки. Не каждому работнику – и сейчас, и тогда – представляются такие длительные отпуска. Знать, начальство ценило его вклад в производство, уважало за это и даже берегло.

Электротехническую подготовку осуществляли в то время только в университетах на физико-математических факультетах, поэтому Славянову пришлось самому заняться электротехнической подготовкой уже в первые годы производственной деятельности. Электротехника стала все больше и больше вытеснять паровую технику с низким коэффициентом полезного действия. Славянов довольно быстро перешел от конструирования и создания простых электрических приборов к конструированию и постройке динамо-машин на основе прототипов Эдисона, Шуккерта и Сименса, но приспособленных для получения больших быстроменяющихся токов до 300 А и напряжением до 100 В. Эти машины были необходимы для нужд освещения завода и прилегающих территорий. Вторая динамо-машина, построенная им по прототипу динамо-машины Грамма, была более мощная, рассчитанная на токи до 1000 А. В каждую из этих машин он внес много собственных усовершенствований, разработок и конструкций измерительных приборов.

В отчете о Сибирско-Уральской научно-промышленной выставке в г. Екатеринбурге в мае 1887 года, опубликованном в Горнозаводском листке №5, отмечается, что «самое важное нововведение (на Пермских пушечных заводах) – это установка динамо-машины по проекту горного инженера Славянова. Она существенно отличается от систем Сименса, Эдисона и Шуккерта: электромагнит ее составлен из двух подков, обращенных полюсами друг к другу, но расположенных не в одной плоскости; особая предохранительная стрелка, входящая в отдельную цепь с током от аккумулятора или батареи, не дает машине делать более определенного числа оборотов; особый прибор запирает пар, если сила тока перейдет максимальный предел, посредством замыкающейся побочной цепи и возникновения тока с действием на прибор; вместо магазина сопротивлений машины Сименса устроен регулятор постоянства силы тока в определенных границах, который находится в намагничивающей цепи с экономизатором пара, действующим автоматически на больший или меньший выпуск пара; в виду особой предосторожности, от него отходит особая ветвь, проводящая ток при начале действия экономизатора в двухголосый сигналный звонок».

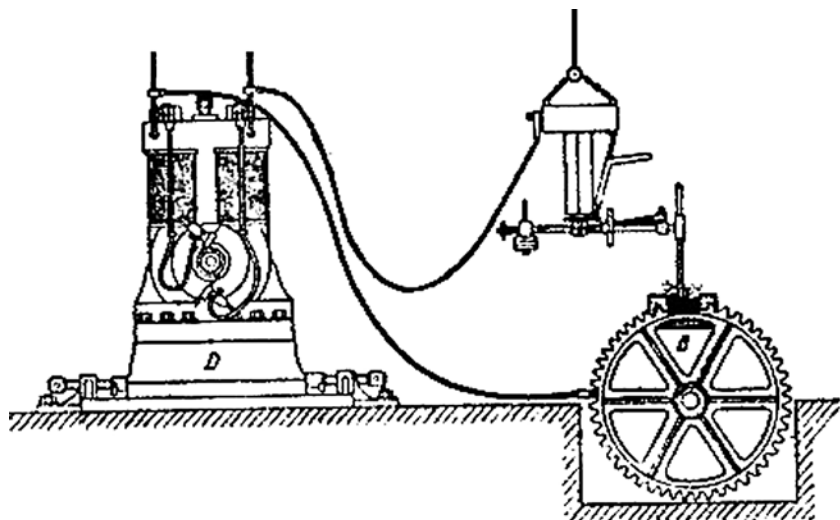
Славянов решал свои производственные задачи на основе глубоких знаний физико-химических и технологических аспектов используемых в производстве процессов, и именно в этом он достигал максимальных успехов во всех своих начинаниях. Он не претендовал на абсолютно но-

вые изобретения, но зато очень к месту и с большой эффективностью применял в своих разработках идеи других авторов, в то же время не копируя их слепо, а умело выискивая рациональные зерна идей, преломляя их в своих разработках иногда даже с большим эффектом, чем его предшественники. Современники, в частности А.М. Шателен, подчеркивали своеобразие и оригинальность конструкций Славянова.

К сожалению, в настоящее время и первый генератор конструкции Славянова, и его чертежи утрачены. Второй генератор большей мощности на ток до 1000 А был спроектирован по типу генератора Грамма. В журнале «Электричество» №5 за 1891 опубликован доклад Г.К. Войводи собранию членов VI отдела Русского технического общества об электрической установке на Пермском пушечном заводе: «Завод принял на себя установку потому, что сметы, представленные некоторыми петербургскими фирмами, оказались не по средствам завода. Работами руководил помощник начальника завода Н.Г. Славянов. Для этой цели по его указанию были построены динамо-машины, коммутаторы, выключатели и проч., своими средствами и все из материалов, имеющихся на заводе; из Петербурга были выписаны только лампы каления и изолированная медная проволока для динамо-машин; проводниками тока по всему заводу служат железные дюймовые полосы; мостики в предохранителях сделаны из тонкой железной проволоки; лампы вольтовой дугой тоже устроены из заводских материалов, причем и угли приготавливаются тоже на заводе. Таким образом, вся установка на 900 ламп обошлась заводу всего лишь в 10000 рублей; динамо-машины ночью работают для освещения, а днем для электролиза (для электроплавки). В виду полной удачи решено теперь расширить там освещение до 2000 ламп». Здесь остается добавить, что Пермь в то время освещалась только газовыми и керосиновыми лампами – а ведь это был губернский город!

Этому второму генератору повезло больше. В 1948 году генератор был передан в качестве экспоната на хранение в Московский политехнический музей – «технический Эрмитаж» России.

В своем творческом наследии Славянов очень много внимания уделяет описанию своих двух изобретений: электросварке (которую он именовал методом электрической отливки металлов) и электродуговому уплотнению отливок в момент их кристаллизации. Подробно описывает технологию, технику и очень подробно останавливается на своем самом ценном детище – электроплавильнике. Он очень часто отмечает, что для производства электрической отливки можно использовать любую динамо-машину, дающую ток не менее 200 А и напряжение 60–100 В. Но для успеха обязательно надо иметь электроплавильник и, желательно, балластный реостат.



*Схема включения плавильника Славянова.*

Славянов как никто другой понимал основные недостатки «электрогестаста»: высокий перегрев металла от раскисленного угольного электрода и науглероживание металла от угольных частиц этого электрода. Поэтому он заменил угольный электрод металлическим стержнем. Если сейчас, имея самый лучший источник питания, попробовать осуществить сварку голым электродным металлическим стержнем, то практически невозможно получить качественный шов. Это связано с тем, что при отсутствии в дуговой промежутке ионизирующих добавок длина дуги будет очень короткой, и капли плавящего электрода будут либо уменьшать длину дуги (и ток будет увеличиваться), или, что еще хуже, создавать короткие замыкания (и броски тока будут создавать дополнительные электромагнитные силы и будет высокое разбрызгивание жидкого металла). По мере плавления электрода длина дуги будет расти и дуга погаснет вообще.

Николай Гаврилович в своем плавильнике выбрал электромагнитный регулятор. И здесь снова проявляется главная черта в творчестве Славянова: он не просто берет существующий регулятор – он его максимально приспособливает к конкретной задаче. Славянов создал регулятор, чувствительность которого менялась при изменении режима сварки.

Второе изобретение Славянова – способ электрического уплотнения отливок с помощью электрической дуги. Во время кристаллизации верхняя часть жидкого металла подогревается. Металл застывает снизу

вверх, и газы, выделяющиеся из массы, свободно выходят сквозь жидкую прослойку. Вследствие этого в металле не образуются пустоты и усадочная раковина, отливка получается плотной.

**З**а свою короткую, но яркую жизнь Славянов все свои производственные и служебные начинания завершал всегда успешно. Он много сделал для производства, для техники в таких ее отраслях как металлургия, машиностроение, обработка металлов и даже в науке, оставив хоть и небольшое, но важное наследие, прежде всего в сварочном производстве.

Остается ответить на последний, очень важный вопрос: почему же дуга с голым плавящимся электродом покорила только ему? Даже сейчас, спустя 125 лет, только вооружившись теоретическими и практическими навыками и достижениями автоматики, электроники и компьютерной техники, удастся получить сварное соединение, равнопрочное с основным металлом. Дело в том, что при неплавящемся угольном электроде испарение электрода происходит заторможено по сравнению с плавлением металлического электрода. Бенардос, применив батарею аккумуляторов и создав падающую вольт-амперную характеристику источника питания, перевел систему в систему устойчивую, в которой рука тренированного человека способна отрабатывать случайные возмущения. При плавящемся электроде система более заторможена, так как требуется время на формирование капли, а потом скачкообразно изменяется длина дуги и снова система теряет свое равновесие, переходя снова в неустойчивую. Эту двойную неустойчивость плавящегося электрода только Славянов смог победить без глубокого знания теории автоматического регулирования – ее просто не было в те годы.

Вершиной творчества Славянова и является преодоление этой суммарной неустойчивости электрической и как бы электрогидрогравитационной своим электрическим плавильником, который создал по замыслу автора встречную неустойчивую систему в виде регулятора, у которого подвижная система тоже неустойчива. Она работает тоже скачкообразно, но уже только за счет уравнивания гравитационных и электромагнитных сил. Создание такого «умного» плавильника есть не результат случайного стечения обстоятельств, не результат мгновенного озарения человеческой мысли – это результат многолетних опытов, их анализ, синтез. Снова череда неудачных опытов, и лишь потом автор находит верный путь в решении поставленной проблемы.

В книге [4], посвященной развитию электротермической техники, отмечено «Во всей изданной в России и Советском Союзе литературе о Н.Г. Славянове остался незамеченным тот факт, что помимо своего выдающегося открытия – изобретения электросварки металлическим

электродом, *Н.Г. Славянов является первым в мире, реализовавшим открытие В.В. Петрова, плавку стали и других металлов в небольших электрических печах с электрической дугой, получивших широкое внедрение в промышленности, частью в России и еще больше за границей.* Однако, то что осталось незамеченным в нашей стране, не ускользнуло от внимания некоторых иностранных ученых». Далее там же идет ссылка на авторитетного немецкого ученого, заведующего кафедрой металлургии и электрометаллургии Высшей технической школы в Аахене (Германия) Вильгельма Борхерса, который в своем труде «Развитие конструкций и применение электрических печей» (1897), а также в другом классическом труде «Электрические печи», выдержавшем четыре издания, в первом абзаце главы, носящей название «Прямой нагрев электрической дугой», приводит сведения по этому изобретению и эскиз тигля Славянова. Это уже научно обоснованное утверждение об еще одном приоритете Славянова в области электрометаллургии, которое авторы формулируют: «*Честь изобретения первых дуговых электропечей, получивших фактическое применение в промышленности, принадлежит России. Кроме того, Н.Г. Славянов первым в мире внедрил способ плавки металлов с помощью расходуемых электродов*».

В данном очерке остается добавить, что поскольку Славянов в своей книге «Электрическая отливка металлов» (1892) писал, что «при расплавлении стали можно прибавлять в тигель желаемые металлургические реагенты (ферромарганец, феррохром, никель и пр.), накопление жидкого металла совершается довольно быстро (при токе 300–400 А от 1 до 2 пудов в час)», то можно дополнительно добавить, что *Н.Г. Славянов первый в мире совершил электродуговой переплав* и таким образом является предтечей электрошлакового переплава, осуществленного уже во второй половине XX века сотрудниками института электросварки им. Е.О. Патона, остающегося и в XXI веке лидером сварочного производства в мире.

#### Список использованной литературы и архивных документов

1. Николай Гаврилович Славянов. Труды и изобретения. – Пермь: Пермское книжное изд-во, 1988. – 298 с.
2. Научно-технические изобретения и проекты. Избранные труды/ Бенардос Н.Н. Киев, наук. Думка, 1982. – 239 с.
3. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики (с древнейших времен до конца XVIII века). – М., «Наука», 1974. – 352 с.
4. Шевцов М.С., Бородачев А.С. Развитие электротермической техники / Под ред. акад. А.Ф. Белова – М.: Энергоатомиздат, 1983 – 208 с.
5. Шателен М.А. Русские электротехники XIX века. – М. –Л.: Госэнергоиздат – 1955. – 432 с.
6. Катица П.Л. Эксперимент теория практика – 3-е изд. доп. – М., «Наука», 1981. – 495 с.

## СВАРКА СЕГОДНЯ

Невозможно представить жизнь современного общества без использования сварки и изделий, полученных с использованием сварочных технологий. Как только появилась необходимость создания сложных конструкций, состоящих из нескольких деталей, начали развиваться технологии их изготовления. В начале третьего тысячелетия сварка является одним из ведущих технологических процессов создания материальной основы современной цивилизации.

Более половины валового национального продукта промышленно развитых стран создается с помощью сварки и родственных технологий. До 2/3 мирового потребления стального проката идет на производство сварных конструкций и сооружений. 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.

Сегодня сварка применяется для неразъемного соединения широчайшей гаммы металлических, неметаллических и композиционных конструкционных материалов в условиях земной атмосферы, мирового океана и космоса. Сварочные технологии используются при создании микрочипов для электронных приборов и для производства гигантских сооружений, таких, как космические ракеты, подводные лодки, газо- и нефтепроводы. Несмотря на непрерывно увеличивающееся применение в сварных конструкциях и изделиях легких сплавов, полимерных материалов и композитов, основным конструкционным материалом остается сталь. Именно поэтому мировой рынок сварочной техники и услуг возрастает пропорционально росту мирового потребления стали. К началу XXI века он оценивается примерно в 40 млрд. долларов, из которых около 70% приходится на сварочные материалы и около 30% – на сварочное оборудование.

Что же такое сварка? ГОСТ дает такое определение: сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве или пластическом деформировании или совместном действии того и другого. Таким образом, для сварки используется два вида энергии: термическая и механическая.

К соединению предъявляются высокие требования. При сварке однородных материалов это обеспечение свойств зоны соединения не ниже



характеристик соединяемых материалов. Часто приходится соединять разнородные материалы: металлы с разными механическими и теплофизическими характеристиками, металлы с неметаллами. В этом случае приходится обеспечивать соединения с определенным набором характеристик, которые диктуются назначением изделия.

По состоянию материала в зоне соединения в момент сварки различают сварку плавлением и сварку давлением. К сварочным технологиям относятся также пайка, термическая резка металлов и других материалов, наплавка, нанесение покрытий и другие.

Для того, чтобы оценить существующий уровень сварочного производства и перспективы его развития, необходимо оценить накопленные человечеством знания в этой сфере деятельности. Развитие человечества на последнем этапе (с окончанием последнего ледникового периода) насчитывает почти 12 000-летнюю историю. Если углубится в историю, то можно заметить, что с древних времен успехи человеческого общества в целом и отдельных племен и народов в отдельности в большой степени зависели от возможностей существовавших в это время технологических процессов. Важное место из множества технологий занимают способы соединения. Человек стал разумным существом лишь тогда, когда стал создавать орудия труда и оружие.

Сварка возникла на самом первом этапе развития человеческой цивилизации. Причем уже в древние времена использовались различные способы сварки. Еще в каменном веке камнем подходящей формы древний человек мог отковать изделия из самородков благородных металлов – золота, серебра, меди. Таким же технологическим приемом, когда необходимо было увеличить размеры изделия, соединяли эти пластины между собой, то есть применяли один из видов сварки – холодную, сварку металлов в холодном состоянии путем приложения деформирующих усилий. Этот первый, вышедший из древнего периода способ сварки получил развитие в настоящее время для соединения медных, алюминиевых проводов, оболочек кабелей связи, морозильных камер холодильников и так далее. В древние времена этот способ был использован при сварке благородных металлов, которые практически не окисляются. Ударяя по сложенным вместе кускам металла, удавалось добиться прочного соединения. В Дублинском национальном музее хранится золотая коробка, изготовленная в эпоху поздней бронзы, стенки и днище ее скованы плотным швом. Как считают эксперты, изготовлена она с помощью холодной сварки. За несколько тысячелетий до н.э. некоторые племена (например, на территории Бесарабии, Украины) добывали из руды медь, свинец. Но техникой литья они еще не овладели, поэтому они подогревали и сковывали отдельные куски, получая более крупные куски и изделия из них.

Появление бронзы – сплава меди и олова – заставило древних умельцев приняться за разработку новых методов соединения отдельных элементов вместе (сварку). Бронза обладает высокой твердостью, прочностью, сопротивлению истиранию. Однако достаточно низкая пластичность не позволяла применять кузнечную сварку для соединения отдельных заготовок. Вдобавок возросли и габариты изделий, что вызывало трудности равномерного их разогрева. На землях бывшей Римской империи найдены бронзовые сосуды цилиндрической формы высотой 31 см и диаметром 50–70 см, которые были сварены по образующей литейной сваркой. В начале железного века начали получать кричное железо. При сыродутном или кричном способе получения железа, который господствовал на протяжении тысячелетий, крицы получались относительно небольших размеров и для получения изделий действительно больших размеров их (куски) необходимо было соединять между собой. Для увеличения длины изделий вели сварку ковкой внахлестку. Клинки и мечи выковывали из нескольких полос среднеуглеродистой стали (0,3–0,4% углерода). 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, так как 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. В скифский период в некоторых случаях делались попытки произвести сварку бронзы с бронзой путем прилива. Однако не всегда получалось прочное соединение. Литейщики раннего железного века при починке изделий (например, котлов) пробивали в стенках отверстие, таким образом получалась соединяющая отливка, напоминающая форму заклепки. 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. Собранный таким образом изделие нагревали до температуры, достаточной для расплавления припоя, но ниже плавления основного металла. Припой растекается по зазору, смачивая кромки, диффундировал в металл и после остывания схватывал кромки. Рано или поздно ювелиры должны были обнаружить, что для соединения металлов и сплавов методом заливки можно применять также сплавы, которые плавятся при значительно меньших температурах, чем материал

соединяемых деталей изделий. Например, стоило только в золото добавить медь или серебро, как образовался сплав со значительно меньшей температурой (например, сплав 20% золота и 80% меди плавится при температуре 886°C (золото – 1064°C, медь – 1083°C), сплав 70% серебра и 30% меди – 780°C (Ag – 961°C)). Это свойство сплавов и было использовано для пайки. Искусство пайки совершенствовалось, появлялись новые припои, начали применять флюсы, растворяющие и связывающие оксиды, мешающие припою диффундировать. В VIII–X веках появляются легкоплавкие припои – свинцовисто-оловянистые.

Металлургия и металлообработка больших успехов достигли в Древней Руси в X–XIII веках в связи с общим 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%). С помощью сварки изготавливали огнестрельное оружие. До появления в конце XV века пушек, отлитых из бронзы, артиллерийские орудия выковывали из железа.

Древнерусские мастера успешно применяли сварку бронзы и стали (например, топоры, найденные в районе Старой Ладogi – обух бронзовый, а лезвия стальные). При изготовлении пушек применяли и литейную сварку – заливали расплавленной бронзой соединяемые детали.

В XIX веке в промышленности была механизирована кузнечная сварка. Ручной труд молотобойца был механизирован, стали применяться механические молоты с весом бойка до 1 т, производящим от 100 до 400 ударов в минуту. Значительно улучшилась конструкция печей для нагрева свариваемых деталей, заменивших примитивные кузнечные горны. Печи переводятся на твердое, жидкое и газообразное топливо. Совершенствуется и технология сварки. Способом кузнечной сварки готовили биметалл. Листы разнородных металлов собирали в пакет, нагревали в печах и пропускали через валки прокатного стана. Значительное применение кузнечная сварка находила в производстве стальных труб с прямолинейным продольным нахлесточным швом, а также спирально-шовных труб. Применялась сварка и при ремонте клепаных конструкций (рамы паровозов, корпуса судов) когда доступ, по крайней мере, с одной стороны после их сборки был возможен. Кроме того, применялась она при производстве инструментов, орудий труда и так далее. Однако во многих отраслях производства кузнечная и литейная сварка ввиду ограниченных возможностей пламени уже не удовлетворяла возросшим требованиям техники. Крупногабаритные конструкции и сложные по форме изделия невозможно было равномерно нагреть пламенем и успеть проковать или полностью залить стык до его остывания.

Ускорение прогресса в области сварочных технологий произошло с открытием новых источников энергии. В начале XIX века на основе достижений в области физики и электротехники в развитии сварки произошел качественный скачок, результатом которого было появление новых способов сварки, являющихся основой современной сварочной техники. Сегодня на способы сварки, использующие электрическую энергию, приходится более 80% сварочного производства. Однако находки изделий древних мастеров дают возможность предположить, что электричество было знакомо людям задолго до нашего времени. Например, найдены шумерские серебряные изделия, покрытые тончайшим слоем золота, который можно обеспечить гальваностегией. Гробница китайского полководца Чжоу Чжу, умершего в III веке н. э., покрыта орнаментом из алюминий-медномагниевого сплава. Алюминий и магний сегодня без электролиза получать невозможно. При раскопках Г. Селевкия (в Сирии) были обнаружены гальванические элементы возрастом несколько тысяч лет. После ремонта они дали ток. Такие же находки обнаружены при раскопках в районе Багдада. Считается, что современные способы сварки плавлением своим появлением обязаны открытию русским ученым В.В. Петровым электрической дуги в 1802 году. Электрическая дуга представляет собой один из видов устойчивого электрического разряда через газовый или парогазовый промежуток, характеризующийся высокой плотностью тока и температурой. Петров сделал предположение, что дугу можно использовать для плавки металлов. Однако на протяжении 80 лет электрическая дуга не находила практического применения и рассматривалась как лабораторный курьез. И это не удивительно, так как электротехника начинала только создаваться, отсутствовали дешевые и надежные источники тока и другая электрическая аппаратура. И только в 1882 году (патент от 1885 г.) русский изобретатель Н.Н. Бенардос впервые предложил способ электрической сварки плавлением, используя для расплавления кромок соединяемых деталей электрическую дугу с угольного электрода. Источником тока являлась батарея аккумуляторов. Начало практического применения электрической дуги для сварки и дальнейшее стремительное развитие дуговых сварочных процессов связано с именем талантливого инженера и изобретателя Николая Гавриловича Славянова. Основные достижения Н.Г. Славянова связаны с его работой на Мотовилихинском заводе. В 1891 году Николай Славянов получил привилегии (патенты) на «Способ и аппараты для электрической отливки металлов» и на «Способ электрического уплотнения металлических отливок». Электрическая дуга поддерживалась автоматически с помощью специального регулятора. Металл обрабатываемой вещи и отливаемый металл могли быть одинаковыми и различными. Отливаемым металлом служил металлический

стержень, который вместе с тем был одним из электродов электрической дуги. Славянов указывал: «Источником электричества может служить динамо-машина, без посредства аккумуляторов, но в таком случае она должна иметь несгораемый якорь и развивать силу тока не менее 200 А при напряжении не менее 50 В». Созданная им динамо-машина и являлась первым в мире сварочным генератором. Изобретения Бенардоса и Славянова явились основой всех последующих разработок в области сварки плавлением с использованием электрической дуги: сварки покрытым электродом, под слоем флюса, плавящимся и неплавящимся электродом в защитных газах. Сегодня дуговые способы сварки занимают первое место по объему использования (около 57% на рынке продаж оборудования и сварочных материалов).

Использование электричества для сварки не ограничивается дуговыми способами сварки. Контактная точечная и стыковая сварка были разработаны даже раньше дуговой. Контактная сварка была открыта и впервые применена для соединения металлов в 1856 году английским физиком Уильямом Томсоном (Кельвином). Позднее, в 1877 году тот же способ сварки предложил, независимо от своего предшественника, Э. Томсон из США.

Если У. Томсон и Э. Томсон создали контактную стыковую сварку сопротивлением, то в 1877 году уже в России Н.Н. Бенардос стал изобретателем контактной точечной сварки.

Удивительно, но факт, что газовая сварка, основанная на относительно простом способе получения тепла в зоне соединения сжиганием топлива в кислороде, получила распространение позже, чем дуговая. Родиной этого способа является Франция. Развитие промышленного способа газовой сварки стало возможным благодаря двум обстоятельствам: во-первых, открытию метода получения горючего газа ацетилена из карбида кальция, во-вторых, – получению в 1895 году французским химиком Анри Луи Ле Шателье высокотемпературного пламени при сжигании смеси ацетилена и кислорода. Позже, в 1901 году, французскими инженерами Эдмоном Фуше и Шарлем Пикаром была сконструирована газосварочная горелка, работающая на ацетилено-кислородной смеси. Предложенная ими конструкция газосварочной горелки практически не изменилась до настоящего времени. Температура ацетиленового пламени составляет 3200°С, что позволяет расплавить большинство металлов.

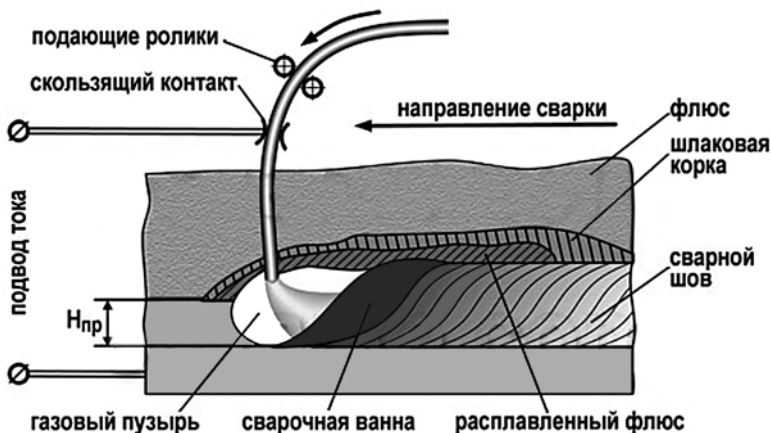
На сегодняшний день существует более 150 различных способов сварки, которые отличаются способом получения энергии в зоне соединения и технологическими приемами, обеспечивающими высокое качество сварного соединения. Ниже рассмотрены современные способы сварки, получившие наибольшее применение.

### *Дуговые способы сварки.*

В настоящее время одним из основных способов сварки является *ручная дуговая сварка покрытым электродом*, что объясняется простотой и универсальностью этого способа. Хотя доля ручной дуговой сварки непрерывно снижается, она еще длительное время будет использоваться как маневренный и доступный способ сварки, особенно при выполнении работ в труднодоступных местах и в условиях монтажа. Как уже ранее упоминалось, открытие Н.Н. Бенардоса усовершенствовал Н.Г. Славянов, заменив угольный электрод металлическим, плавящимся. Однако использование непокрытого, голого прутка-электрода не обеспечивало получения сварных швов высокого качества из-за насыщения металла кислородом и азотом из атмосферы воздуха. Кроме того, дуга с металлического электрода в открытой атмосфере отличается неустойчивостью. В 1907 году шведский инженер О. Кьельберг предложил первые качественные или толстопокрытые электроды, применение которых значительно повысило качество сварных швов (механические свойства, внешний вид). В настоящее время в странах СНГ выпускается более 500 типов электродов с самыми различными качественными покрытиями, которыми успешно свариваются стали, чугуны, цветные металлы, их сплавы и другие различные материалы. Толщина покрытия современных качественных электродов составляет 1–3 мм. Оно представляет собой тонкоизмельченную смесь, состоящую из различных минералов, рудных продуктов, горных пород, ферросплавов, органических и других веществ, скрепленных между собой и с поверхностью металлического прутка водным раствором жидкого стекла. Такое сложное по составу покрытие выполняет ряд функций: помимо защитной от вредного воздействия воздуха (кислорода и азота) на жидкий металл – облегчение зажигания дуги и устойчивость ее горения. Составляющие покрытия осуществляют очень важную металлургическую обработку расплавленного металла – его раскисление, то есть освобождение в той или иной мере от кислорода, внесение в металл специальных добавок, улучшающих его свойства (легирование), очищение металла от вредных примесей – серы и фосфора (рафинирование), измельчение размеров кристаллов в процессе затвердевания металла. В зависимости от того, для сварки каких металлов предназначаются электроды, прутки, на которые наносится покрытие, могут быть из различных металлов или сплавов. Сварка покрытым электродом может осуществляться во всех пространственных положениях свариваемого участка изделия. Большое разнообразие типов и марок покрытых электродов позволяет успешно сваривать и наплавлять самые различные стали и специальные сплавы, чугуны, цветные металлы и сплавы на их основе, получать сварные соединения из них высокого качества. Вместе с

тем ручной дуговой сварке присущи значительные недостатки: использование ручного труда рабочих высокой квалификации, низкая производительность процесса вследствие использования небольших величин сварочного тока и перерыв процесса из-за необходимости замены электродов по мере того, как они расплавляются.

Начало широкой механизации и автоматизации сварочных процессов было связано с созданием в 1939/40 годах под руководством академика Е.О. Патона способа скоростной автоматической *сварки голым электродом под слоем флюса*. Этот способ и сегодня остается одним из самых экономичных и высокопроизводительных процессов, обеспечивающим получение сварных швов высокого качества. В чем же заключается коренное отличие дуговой сварки под флюсом от ручной? При сварке под флюсом вместо штучных электродов применяется электродная проволока большой длины, свернутая в виде кассеты. Ее подача в зону дуги по мере плавления, а также перемещение самой дуги вдоль свариваемых кромок механизированы и осуществляются сварочным автоматом, имеющим устройство для внесения в зону сварки флюса и отсоса расплавленной его части со шва для возврата в бункер. Возбуждению дуги предшествует засыпка флюса вдоль свариваемых кромок в виде валика толщиной 50–60 мм. Возникшая при включении автомата дуга между торцом электродной проволоки и свариваемым изделием оказывается закрытой флюсом: она горит в закрытой полости, образованной расплавленным флюсом в своеобразном газовом пузыре. Закрытая полость и возникающее статическое давление слоя флюса на жидкий металл сварочной ванны предотвращают разбрызгивание жидкого металла и нарушения в формировании шва (рис.1). Флюс – это сыпучий, зернистый, то есть гранулированный материал, с величиной зерен (гранул) 1–2 мм. Современные флюсы разнообразны, различаются назначением, составом и свойствами. Плавленые флюсы получают путем сплавления различных веществ (минералов, рудных продуктов и др.) в печах, поэтому готовый плавленый флюс относится к сложным силикатам, близким по свойству к стеклу. Шлаки, ими образуемые, в зоне сварки выполняют в основном защитную роль, изолируя жидкий металл от контакта с воздухом, будучи в металлургическом отношении малоактивными. Не плавленые флюсы, к которым относятся, прежде всего, так называемые керамические изготавливают без сплавления входящих в их состав порошкообразных веществ, путем связывания такой смеси жидким стеклом (силикатным клеем) с последующей грануляцией в зерна размером 1–3 мм. Подобные флюсы содержат в своем составе (как и электродные покрытия) не окисленные свободные элементы – металлы или их сплавы (ферросплавы), что позволяет при сварке под таким флюсом активно вмешиваться в ход хи-



*Рис.1. Схема автоматической сварки под слоем флюса.*

мических реакций в жидкой сварочной ванне, осуществлять раскисление, легирование металла шва, очищать его от вредных примесей, воздействовать на структуру шва, то есть получать в итоге сварные швы нужного состава и свойств. Так как дуга, находящаяся под флюсом, невидима, это исключает возможность визуального наблюдения за положением конца электрода. Контроль над процессом сварки ведут по приборам и указателю положения электрода относительно кромок свариваемого изделия.

В зависимости от того, каким образом производится перемещение дуги вдоль свариваемых кромок изделия, сварочные автоматы разделяются на три группы: подвесные автоматы, самоходные автоматы и сварочные тракторы. Основным видом автоматической сварки под флюсом является сварка одной дугой, когда подается в зону дуги одна электродная проволока. Однако возможна сварка двумя и более дугами, с подачей двух и более проволок. При многоэлектродной сварке все электродные проволоки подсоединены к одному полюсу источника питания, а при многодуговой – каждая из проволок получает питание от отдельного источника. Существуют также виды автоматической сварки с использованием нескольких сварочных головок, действующих одновременно на разных участках шва, и другие. Все эти виды автоматической сварки под флюсом преследуют одну главную цель: еще более повысить производительность сварки. Так, если однодуговая сварка под флюсом производительней ручной в 4–6 раз, то многодуговая – уже в 15–20 раз.



Нетрудно увидеть преимущества автоматической сварки под слоем флюса. Они сводятся к следующему: высокая производительность процесса, обусловленная возможностью применять значительный по величине ток (в сравнении с открытой дугой – в 10 раз и более); закрытая и мощная дуга под флюсом обеспечивает лучшее использование сварочного тока – значительное проплавление свариваемого металла, позволяющее уменьшать разделку кромок или вообще ее не делать. Следствием этого является существенное сокращение расхода электродного металла и электроэнергии. Вместе с тем уменьшаются и потери металла на угар, разбрызгивание, огарки (неизбежные при ручной сварке); стабильное, хорошее качество и формирование сварных швов; высокий уровень механизации и возможность комплексной автоматизации сварочного процесса; улучшение условий труда, так как нет необходимости в защите глаз и лица сварщика от вредного действия дуги. Однако у способа имеются и недостатки: возможность сварки только в нижнем положении при наклоне изделия не более 10–15° от горизонтали, с целью предупреждения отека расплавленного металла и флюса, нарушающего правильное формирование шва; невозможность (или нецелесообразность) сварки тонколистового металла толщиной менее 3 мм, швов малой длины; сложность и громоздкость сварочного оборудования, уменьшающих маневренность способа; необходимость более тщательной (в сравнении с ручной сваркой) подготовки кромок и более точной сборки деталей под сварку.

Ряд перечисленных недостатков могут быть полностью или частично устранены при использовании такого важного вида дуговой сварки, как *сварка в защитных газах*. В настоящее время дуговая сварка в защитных газах занимает одно из ведущих мест в сварочном производстве и продолжает развиваться и совершенствоваться. При этом виде сварки вместо флюса используется защитный газ, подаваемый в зону горения дуги под небольшим избыточным давлением, защищающим расплавленный металл от контакта с воздухом. Для защиты зоны сварки применяют три группы газов: инертные (аргон, гелий), активные (углекислый газ, водород, азот и др.) и смеси газов. Выбор защитного газа определяется особенностями свариваемого металла, требованиями к свойствам сварных соединений, эффективностью процесса и другими соображениями. Первым, высказавшим в конце XIX века идею о сварке в защитном газе, был Н.Н. Бенардос. Реализовали же эту идею в 20-х годах XX века американские инженеры Александер и Лэнгмюр, используя при сварке стержневым электродом в качестве защиты смесь газов. Значительно позднее, в 1940-х годах, в СССР и в США почти одновременно появляется новый вид дуговой сварки – в среде инертных газов. В СССР этот процесс разрабатывался в НИИАТ (Научно-исследовательский институт авиационной технологии,

г. Москва), сначала с применением неплавящегося вольфрамового электрода, а потом и плавящегося. На протяжении примерно 10 лет в ряде организаций (ИЭС им. Е.О. Патона, МВТУ им. Баумана, ЦНИИТМАШе, Московском авиационно-технологическом институте и др.) делаются безуспешные попытки использовать при сварке в  $\text{CO}_2$  плавящийся электрод. Лишь в 1952 году в ЦНИИТМАШе сотрудниками К.В. Любавским и Н.М. Новожиловым получены положительные результаты: они применили не обычную сварочную, а специальную проволоку.

Использование в качестве защитной среды смесей газов – инертных и активных – оказалось в ряде случаев более эффективным, так как за счет активного воздействия на ход реакций, протекающих в металле, удается получить более высококачественные сварные швы. Более совершенная защита свариваемого металла создается при использовании местных защитных устройств, специальных камер с контролируемой атмосферой – для ручной и механизированной сварки, и так называемых обитаемых камер, в которых сварка осуществляется после создания соответствующей среды – сварщиком, одетым в скафандр. Результатом

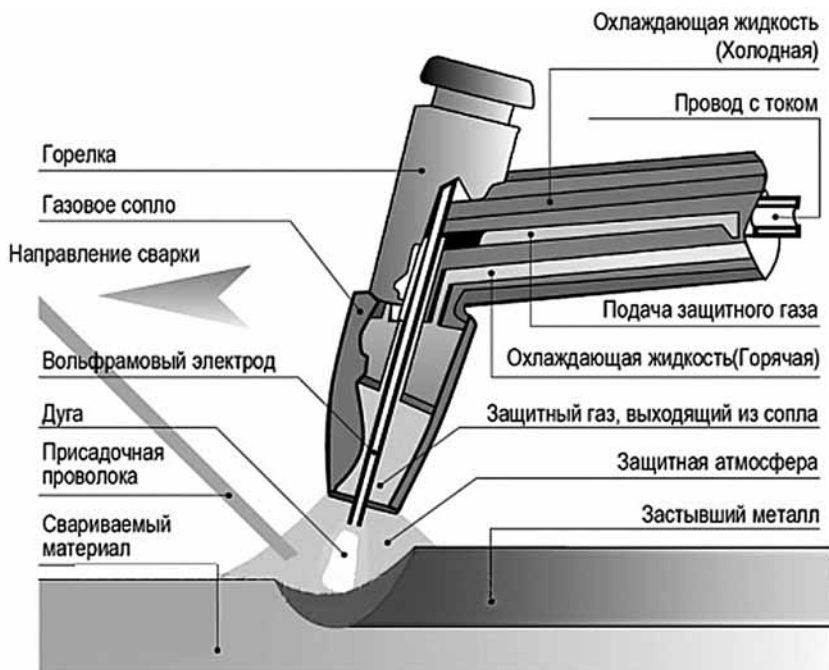


Рис. 2. Схема сварки в защитных газах неплавящимся электродом.

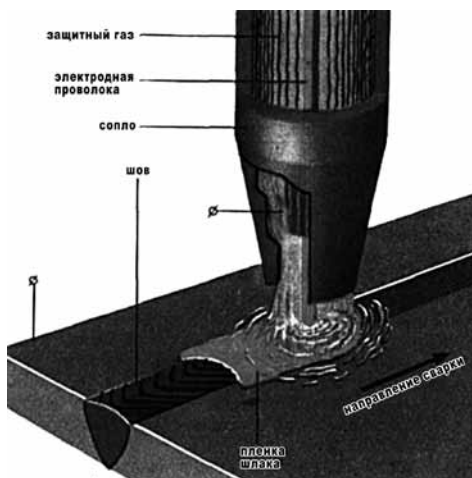
большой совместной работы коллективов МВТУ им. Баумана и МЭИ (Московский энергетический институт), начатой в 1961 году, явилось применение для дуговой сварки вакуумной защитной среды, создаваемой в специальных вакуумных камерах. В такой среде содержание азота и кислорода на один-два порядка ниже, чем при сварке в аргоне высшей чистоты.

Для сварки неплавящимся электродом стали применять угольные (графитовые) и вольфрамовые стержни (рис.2). Применение электродов из вольфрама экономически выгоднее, несмотря на высокую стоимость этого металла. Вольфрам является самым тугоплавким из металлов, поэтому такой электрод лишь медленно оплавляется и испаряется. Для защиты от окисления и увеличения срока службы такого электрода сварку осуществляют в струе защитного газа, которым может быть водород или инертные газы – аргон, гелий. Сущность процесса сварки неплавящимся электродом заключается в следующем. Дуга прямого действия возбуждается и горит между вольфрамовым электродом и свариваемым изделием. Вся зона сварки (конец электрода, дуга и ванночка расплавленного металла) защищается от контакта с воздухом инертным газом, подаваемым в виде потока, концентрически направленного относительно электрода. Сопло служит для формирования и нужного направления потока защитного газа. Все названные элементы образуют так называемую горелку – основной рабочий инструмент сварщика. Поскольку электрод является неплавящимся, в большинстве случаев для нужного формирования шва в зону сварки вносится присадочный металл, подаваемый сварщиком.

Сварка в защитных газах неплавящимся электродом имеет много разновидностей, одна из которых, например, называется сваркой пульсирующей дугой или импульсно-дуговой сваркой. При сварке пульсирующей дугой, разработанной в СССР в 1961 году (авторы А.В. Петров, Г.А. Славин), ток дуги пульсирует от минимума во время паузы до максимума во время импульса. Такое питание дуги током позволяет выполнять сварку весьма тонких элементов со швами, расположенными в различных пространственных положениях, а также управлять процессом кристаллизации металла шва с целью получения высокого их качества. Чаще всего сварка неплавящимся электродом в инертных газах применяется при изготовлении изделий из алюминия, магния и их сплавов, сплавов на основе никеля, некоторых специальных сталей. Сварка в защитных газах плавящимся электродом намного опережает по объему применения сварку неплавящимся электродом (примерно 90% объема – сварка плавящимся электродом). При сварке плавящимся электродом дуга возбуждается между изделием и электродом, который по мере расплавления подается в зону дуги специальными подающими роликами (рис.3). Из активных защитных

газов наиболее широко применяют для сварки плавящимся электродом углекислый газ, использование которого вначале было безуспешным. В чем же причины первых неудач по использованию углекислого газа в качестве защитной среды? В зоне горения дуги углекислый газ, оттесняя воздух, вместе с тем является активным окислителем. Поэтому при сварке в такой среде углеродистой стали в жидком металле сварочной ванны протекает окисление ряда важных элементов, входящих в состав стали и определяющих ее свойства, таких как кремний, марганец, углерод. Оказалось, что если в сварочную ванну внести дополнительные порции кремния и марганца, они, будучи сильными раскислителями, затормаживают взаимодействие углерода с кислородом, а значит и газообразование, вызывающее пористость швов. Вот почему, установив это, К.В. Любавский и Н.М. Новожилов (ЦНИИТМАШ) предложили применять для сварки специальную кремнемарганцовистую проволоку, обеспечивающую внесение в жидкий металл достаточных количеств кремния и марганца, необходимых для получения качественных сварных швов.

Для сварки плавящимся электродом создана большая группа полуавтоматов и автоматов. Сварка в защитных газах позволяет: успешно выполнять швы в любом пространственном положении, непосредственно наблюдать и контролировать движение дуги по свариваемому участку, образование шва, так как зона сварки открыта. Кроме того, отсутствует шлаковая корка на шве, а значит и затраты времени на ее удаление. К недостаткам этого процесса следует отнести следующие: при выполнении



**Рис. 3.** Схема сварки плавящимся электродом в защитных газах.

больших по размерам швов производительность примерно вдвое меньше, чем при сварке под флюсом; затруднена сварка на открытом воздухе при ветре – из-за сдувания защитного газа; при сварке в углекислом газе в общем случае наблюдается разбрызгивание металла, требующее по окончании сварки удаления брызг с поверхности металла; необходимость применения защитных средств против светового и теплового излучения дуги.

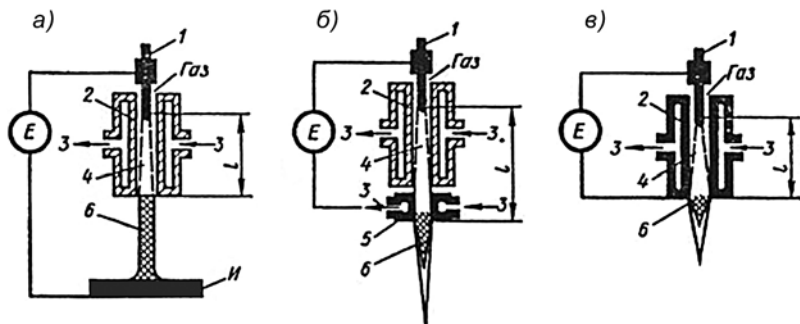
Сварка в углекислом газе заняла ведущее место в судо-

строении, транспортном и сельскохозяйственном машиностроении, в производстве трубопроводов, при выполнении различных монтажных работ – в процессе изготовления листовых и решетчатых конструкций, установке переборок в морских и речных судах, в поточном производстве баллонов, баков, бочек и прочих сосудов, различных машиностроительных деталей. В углекислом газе сваривают изделия из малоуглеродистой, легированных, а в некоторых случаях и высоколегированных сталей, чугуна. Инертные газы используют при сварке сосудов и аппаратов для химической промышленности, различных вакуумных камер, соединений трубопроводов для агрессивных жидкостей и других изделий, изготавливаемых из специальных сталей, легких и цветных металлов, активных и тугоплавких металлов. Особое место среди способов дуговой сварки занимает сварка самозащитной проволокой, разработанной практически одновременно в 1958 году в СССР и США. При этом способе защита металла шва от вредного воздействия воздуха и его легирование достигаются только за счет процессов, сопровождающих плавление специальной электродной проволоки, без дополнительного использования флюса или какого-либо защитного газа. Наиболее просто это достигается при использовании так называемых порошковых проволок, представляющих собой металлическую оболочку и сердечник в виде смеси порошков различных материалов. Попадая в зону дуги, порошок частично расплавляется, частично просыпается в сварочную ванну, что обеспечивает надежную защиту металла шва от воздуха (за счет образования газовой среды) и шлаковой корки и его легирование.

Дальнейшим развитием дуговых способов сварки является плазменная сварка. При плазменной сварке и резке источником нагрева служит дуга, столб которой принудительно обжат по диаметру, что приводит к резкой концентрации удельной тепловой мощности и повышению температуры плазмы дуги. Основным инструментом при плазменной сварке и резке служит плазмотрон, являющийся генератором плазмы, то есть ионизированного газа с высокой температурой. Впервые сжатую водяным вихрем дугу наблюдали в начале 20-х годов XX в. Гердиен и Лотц (Германия). Однако лишь в середине 50-х годов сжатая дуга нашла практическое применение: в США был разработан способ резки такой дугой толстолистового алюминия. В СССР работы по использованию сжатой дуги в сварочной технике начались с 1956 года. Исследования и разработки в этой области были сосредоточены в ряде научно-исследовательских институтов: ВНИИАВТОГЕНе, НИАТе, институте металлургии им. А.А. Байкова, институте Электросварки им. Е.О. Патона, ВНИИЭСО (Всесоюзный научно-исследовательский институт электросварочного оборудования, г. Санкт-Петербург). В отличие от обычной дуги, горящей

свободно, когда для плавления металла используется главным образом тепло, выделяемое в активных пятнах (анодное и катодное пятна), в сжатой дуге роль активных пятен незначительна; основным источником тепла для сварки (или резки) служит искусственно удлиняемый и сжатый столб дуги, с высокой плотностью энергии. Дуговую плазменную струю для сварки и резки получают по двум основным схемам (рис. 4). При плазменной струе прямого действия (рис. 4, а) изделие включено в сварочную цепь дуги, активные пятна которой располагаются на вольфрамовом электроде и изделии. Плазменная струя косвенного действия (рис. 4, б, в) образуется при дуговом разряде, происходящем между вольфрамовым электродом 1 и внутренней боковой поверхностью сопла 5.

Как же работает плазмотрон? Внутри корпуса плазмотрона имеется камера, в которой расположен вольфрамовый электрод и туда подается под некоторым давлением плазмообразующий газ (аргон, гелий и др.). Нижняя часть корпуса, называемая соплом, образует узкий канал для выхода плазмы. Сопло в процессе работы охлаждается проточной водой. Так как при нагреве дуговым разрядом плазмообразующего газа его объем увеличивается в 50–100 и более раз (при одновременной ионизации), создаются высокие, близкие к сверхзвуковым, скорости истечения плазменной струи из сопла. Дуговая плазменная струя – интенсивный источник теплоты, используемый в настоящее время для нагрева, сварки и резки как электропроводных металлов (любых), так и неэлектропроводных материалов, таких как стекло, керамика и др. Чрезвычайно перспективно применение сжатой дуги в наплавочных работах и в процессах напыления. Особой областью применения сжатой дуги является нагрев деталей под пайку и термообработку. Сжатую дугу успешно используют

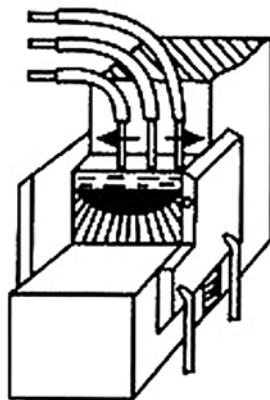


**Рис. 4. Принципиальные схемы плазмотронов прямого действия (а) и косвенного действия (б, в): 1 – электрод; 2 – канал; 3 – охлаждающая вода; 4 – столб дуги; 5 – сопло; 6 – плазменная струя; Е – источник тока; И – изделие; l – углубление электрода в канал.**

в черной металлургии. Здесь мощными плазмотронами осуществляют переплав металлических слитков для получения особо чистого, лишенного вредных примесей металла.

### Электрошлаковая сварка

Разработка этого принципиально нового процесса была осуществлена в начале 50-х годов прошлого века сотрудниками ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР во главе с Г.З. Волошкевичем при творческом сотрудничестве с заводами НКМЗ (Новокраматорский машиностроительный завод), Таганрогским «Красный котельщик». Важнейшим следствием всех этих работ стало решение проблемы качественной и высокопроизводительной однопроходной сварки металла практически неограниченной толщины. Эффективность процесса оказалась огромной. По новой технологии сваривают крупногабаритные детали в судостроении (корпуса, несущие конструкции), в химическом и тяжелом машиностроении (сосуды, станины мощных прессов, валы крупных гидротурбин, прокатное оборудование, реакторные колонны и др.), в котлостроении и мостостроении. Этот процесс нашел применение в наплавочных работах, в ремонтном деле, при сварке арматуры, рельсов. Оказалось, что весьма эффективно различные литые и кованные крупногабаритные детали изготовлять путем соединения отдельных частей с помощью электрошлаковой сварки. Известно, что при расплавлении флюса образуется шлак, который является проводником электрического тока. При пропускании электрического тока через шлак в нем будет выделяться, в соответствии с законом Джоуля–Ленца, теплота. Этот принцип и лежит в основе электрошлаковой сварки. Сварка обычно выполняется при вертикальном расположении деталей, собираемых с зазором. В пространство, образованное свариваемыми кромками деталей и формирующими ползунами, засыпается вначале небольшая порция флюса, затем возбуждается дуга между плавящимся электродом (электродами) и изделием, что приводит к расплавлению флюса и образованию шлаковой ванны требуемого объема и глубины. Дуга при этом гаснет, но сварочный ток вследствие проводимости шлака будет продолжать проходить между электродом, погруженным в шлак, и изделием, вызывая сильный разогрев шлаковой ванны. За счет тепла шлаковой ванны происходит оплавление свариваемых кромок



*Рис. 5. Схема электрошлаковой сварки.*

деталей и расплавление электрода. Непрерывное плавление электрода и кромок изделия, с одной стороны, и кристаллизация металла ванны, с другой стороны, приводят к непрерывному перемещению металлической и шлаковой ванны вверх, вдоль свариваемых кромок. На протяжении всего цикла сварки шлаковая ванна, находясь над поверхностью расплавленного металла, препятствует его взаимодействию с воздухом. Из практики известно, что с помощью ЭШС сваривались заготовки толщиной более 2600 мм, имевшие в месте сварки сплошное сечение до 10 м<sup>2</sup>, массой около 300 т. Электрошлаковый процесс успешно применяют не только для сварки, но и для наплавки деталей различной конфигурации: плоской, круглой, конической и так далее.

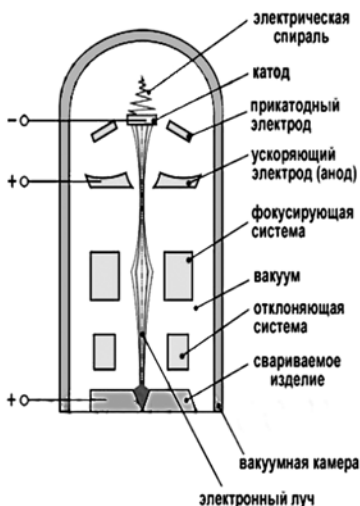
К несомненным достоинствам электрошлаковой сварки можно отнести следующие: возможность сварки за один проход изделий практически неограниченной толщины; высокую производительность сварки толстостенных деталей (толщиной 60 мм и более), превышающую производительность многослойной сварки под флюсом тех же деталей в 5–6 раз, а ручной – в 20–25 раз; незначительный расход флюса, в 15–20 раз меньший, чем при автоматической сварке; меньшая (в 1,5–2 раза) энергоемкость процесса по сравнению с автоматической сваркой под флюсом; невысокая, в сравнении с многопроходной автоматической сваркой под флюсом, стоимость сварного соединения, обусловленная малым расходом флюса, электроэнергии, упрощением подготовки кромок под сварку; возможность изготовления уникальных по размерам и массе деталей и изделий (например, сварнолитые станины тяжелых прессов и прокатных станков, толстостенные сварнокованные цилиндры и др.); возможность получения сварных соединений высокого качества, лишенных пор, шлаковых включений, трещин, подрезов. Однако электрошлаковая сварка не лишена и недостатков, к их числу относятся следующие: применение малой скорости сварки (менее 1 м/ч) при значительном тепловложении приводит к длительному тепловому воздействию на металл и медленному его охлаждению, следствием чего является перегрев металла околошовной зоны с формированием в ней весьма крупного зерна, обладающего сниженными пластическими свойствами и хрупкостью. Крупнозернистая, литая структура образуется и в металле шва. В связи с этим возникает необходимость (особенно при изготовлении ответственных конструкций) после электрошлаковой сварки подвергать изделие специальной термообработке с целью уменьшения размера зерен. Свариваемое соединение необходимо устанавливать в вертикальном положении или близком к этому. Недопустимы остановки сварочного аппарата в процессе выполнения шва, так как тогда неизбежно появление дефектов в месте остановки после сварки этого участка. Электрошлаковая сварка легла в основу раз-



работки ряда новых технологий, выходящих за рамки сварочного производства, которые впоследствии получили общее название – электрошлаковая технология, включающая сегодня около 20 технологических процессов.

### *Электронно-лучевая сварка*

Способ электронно-лучевой сварки (ЭЛС) возник во Франции и СССР почти одновременно в 1957/58 годах и связан с именами французского ученого Д.А. Стора (Французская комиссия по атомной энергии) и русского ученого Н.А. Ольшанского (Московский энергетический институт). У истоков появления ЭЛС стояли также К.Г. Штайгервальд (ФРГ) и Б.А. Мовчан (ИЭС им. Е.О. Патона). 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.6. Разработка и применение ЭЛС диктовалось растущим производством большой группы изделий из трудносвариваемых тугоплавких и химически активных металлов, обладающих ценными свойствами (молибден, цирконий, вольфрам, ниобий, тантал, бериллий, титан и др.). Эти металлы, как и сплавы на их основе, широко используются в химическом машиностроении, реакторостроении, электронном приборостроении,



*Рис. 6. Схема установки электронно-лучевой сварки.*

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 потери пластичности сварными соединениями. За сравнительно короткий срок, прошедший с момента возникновения ЭЛС, она получила широкое практическое использование. Поток электронов создается важнейшей частью такой установки – электронной пушкой, в которой излучателем электронов является нагреваемый до высокой температуры (~2500 °С) вольфрамовый или металлокерамический катод (рис. 6).

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. Для формирования интенсивного электронного пучка с высокой плотностью энергии и малым углом сходимости используется специальная фокусирующая система. Направление пучка в заданную точку свариваемого изделия осуществляется специальной магнитоотклоняющей системой. При соударении электронов, собранных в пучок малого диаметра, с изделием происходит их торможение с преобразованием кинетической энергии в тепловую, что вызывает нагрев металла в месте сварки до высокой температуры вплоть до температуры кипения (испарения). 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 глубокий вакуум, создаваемый с помощью вакуумного оборудования. Острая фокусировка электронного луча на малую площадь изделия приводит к получению очень высокой плотности энергии, 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.

К 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 ранее в нем газы успевают выделиться (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 недостаткам 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.

### *Лазерная сварка*

В истории развития науки и техники бывают случаи, когда отдельные открытия и изобретения дают мощные средства для решения ряда практических важных задач. К числу подобных работ в области квантовой электроники относится открытие в 1952 году физиками Н.Г. Басовым, А.М. Прохоровым (СССР) и Ч. Таунсоном (США) нового принципа генерации и усиления света, получивших за это открытие Нобелевскую премию. На основе этих работ в начале 1960-х годов 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 так далее. Лазерный луч нашел применение в медицине (диагностика, хирургия, терапия и др.), в средствах связи и телевидении, в военно-космической области и так далее. Основными элементами лазерной сварочной установки на твердотельном лазере являются стержень активной среды, мощная импульсная спиралевидная лампа накачки, преобразующая электрическую энергию заряжаемых конденсаторов в световую, два зеркала-резонатора, система фокусирования излучения, на свариваемые детали. Каким же образом формируется световой луч в твердотельном лазере? При импульсной вспышке лампы накачки атомы хрома в рубине переходят в возбужденное состояние, то есть их электроны переходят на более высокие энергетические уровни. Если количество возбуждаемых атомов за одну вспышку лампы достигает некоторого критического уров-

ня, то под воздействием фотонов стимулируется лавинный процесс перехода возбужденных атомов в обычное состояние с испусканием при этом фотонов, соответствующих красному свету. Лавинный поток фотонов, движущихся в осевом направлении, мгновенно умножается за счет многократного отражения от зеркал резонатора, пока не окажется достаточным, чтобы прорваться через полупрозрачное зеркало наружу в виде когерентного импульсного пучка красного света с очень малым углом расходимости. Направляя световой пучок зеркалом через длиннофокусную линзу, можно достичь очень большой степени его фокусировки с диаметром светового пятна вплоть до нескольких микрон, что позволяет получить наивысшую плотность тепловой мощности на поверхности свариваемого изделия – более  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>. В таких условиях все известные материалы не только плавятся, но и испаряются, что и используется реально для целей сверления тончайших отверстий в материале любой твердости и температуры плавления. Однако для сварки используется лазерный луч с меньшей плотностью энергии ( $\sim 10^5$ – $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>) из-за возможности интенсивного испарения и выплеска металла в зоне сварки, что приведет к существенным дефектам сварных швов. 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 заключаются 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, стеклоспаев полупроводниковых элементов) без их разрушения и изменений формы деталей; минимальное время воздействия лазерного луча на свариваемый металл обеспечивает малые размеры зоны термиче-

ского 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.).

### ***Сварка лучистым нагревом***

В конце 1960-х годов ряд сотрудников Московского авиационно-технологического института им. К.Э. Циолковского, руководимых проф. Г.Д. Никифоровым, разработали процесс сварки и пайки сфокусированной лучистой энергией от мощных источников света. Принципиальная схема процесса весьма проста и сводится к следующему. Мощная дуговая ксеноновая лампа сверхвысокого давления помещается в фокусе эллипсоидного отражателя. Для более полного использования лучистого потока лампы служит контротражатель. Отраженные лучи света от эллипсоидного отражателя, фокусируются на нагреваемом (свариваемом) изделии, образуя так называемое фокальное пятно.

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. Оптический источник тепла позволяет сваривать не только металлы, но и стекло, керамику, пластмассы. Нагрев для целей сварки и пайки лучистой энергией обладает рядом 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.

### ***Контактная и прессовая сварка***

В СССР контактную сварку стали внедрять в довоенные годы главным образом в автомобильную промышленность, используя, в основном, зарубежный опыт (США). Затем, в период первых пятилеток последовала организация производства мощных контактных машин улучшенной конструкции. В этой работе особую роль сыграл сварочный комбинат Оргаметалл, позже, преобразованный в ЦНИИТМАШ, завод «Электрик», где создавались контактные машины разного профиля, в том числе для шовно-стыковой сварки труб, для стыковой сварки автомобильных колес, для рельефной сварки и многое другое. В эти же годы для точечной и стыковой контактной сварки нашел применение в качестве источника энергии разряд конденсаторов, осуществлена точечная сварка узлов авиаконструкций из низкоуглеродистой стали и многих других элементов конструкций из различных материалов. В период Великой Отечественной войны решением одной из серьезных задач в области контактной сварки было повышение стабильности качества точечных соединений. В последующие годы разработано и внедрено в производство новое оборудование и технологии по контактной сварке, например, для сварки стыков рельсов, многоточечной сварки каркасных конструкций в вагоностроении, автомобилестроении, с/х машиностроении, точечной и стыковой сварки деталей летательных аппаратов, энергетических установок, в массовом производстве – сварных труб различного назначения и так далее.

Образование неразъемного соединения при контактной сварке происходит в результате нагрева металла проходящим электрическим током и пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия. Так как наибольшее сопротивление протекающему току возникает в контакте между свариваемыми деталями, место контакта и приле-

гающие к нему участки металла разогреваются наиболее интенсивно и приобретают повышенную пластичность, последующее механическое сдавливание (или осадка) деталей завершает процесс сварки. Таким образом, любая машина для контактной сварки должна иметь, кроме электрической, и механическую часть. Учитывая, что все металлы обладают большой электропроводностью, но малым удельным сопротивлением, для быстрого их нагрева и компенсации неизбежных потерь тепла, в контактных машинах пользуются большими сварочными токами (от тысячи до сотен тысяч ампер и более), но очень малым напряжением, составляющим всего несколько вольт. По форме выполняемых сварных соединений существуют три основных вида контактной сварки: стыковая, точечная и шовная (рис. 7).

**Стыковая контактная сварка** (рис. 7а) имеет две разновидности: сварка сопротивлением и сварка оплавлением. При сварке сопротивлением детали прочно закрепляются в зажимном устройстве машины и под небольшим давлением сжимаются до соприкосновения друг с другом свариваемыми поверхностями. Затем включается ток, и детали в месте контакта и зонах, к нему прилегающих, быстро разогреваются до высокой температуры (0,8–0,9 Тпл). Тогда осуществляется их сдавливание осадочным устройством машины, с одновременным выключением тока. За счет пластической деформации металла в стыке происходит образование соединения в твердом состоянии.

Сваренные детали имеют в месте сварки значительное усиление (увеличение сечения) за счет осадки металла при обжатии. К достоинствам стыковой сварки сопротивлением следует отнести: простоту устройства машины; незначительный расход энергии на нагрев деталей, при высокой производительности сварки; уменьшенный расход металла (только на осадку). Вместе с тем, процесс имеет и недостатки: значитель-

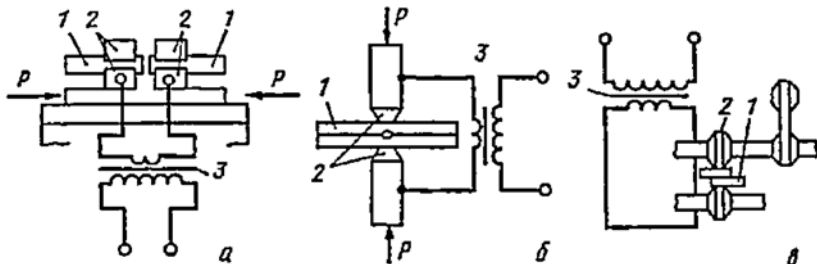


Рис. 7. Виды контактной сварки: а – стыковая сварка, б – точечная сварка, в – шовная сварка; 1 – свариваемые детали, 2 – электроды-токопроводы; 3 – сварочный трансформатор.

ное давление осадки, вследствие чего машина должна иметь высокие силовые характеристики; трудность обеспечения высокого качества сварных соединений (особенно при сварке больших сечений) из-за неравномерного прогрева стыка и возможного присутствия в нем не удаленных окисных пленок.

Стыковая сварка сопротивлением применяется для соединения деталей небольшого сечения, например, проволоки, а также стержней или полос – из хорошо сваривающейся в пластическом состоянии стали (малоуглеродистая, низколегированная) при условии специальной подготовки торцов соединяемых элементов. Эффективно применение этого вида сварки при изготовлении сварных сеток и каркасов арматуры железобетона.

Сварка оплавлением может быть прерывистой и непрерывной. При прерывистом оплавлении ток включается в момент, когда детали подведены друг к другу, но еще разъединены. Под напряжением производится дальнейшее сближение деталей до краткого их соприкосновения в местах выступов, неровностей, а затем их отводят друг от друга. Таких сближений и отводов деталей с искристым разбрызгиванием частично расплавленного металла осуществляется несколько, пока не произойдет оплавление по всему свариваемому сечению. Лишь после этого под повышенным давлением производится быстрая осадка деталей, в процессе которой и выключается ток. При таком процессе происходит выдавливание расплавленного, в основном окисленного металла и прочих продуктов загрязнения из зоны сварки, с образованием так называемого грата, после удаления которого остается небольшое усиление в зоне сварки. При непрерывном оплавлении происходит медленное и равномерное сближение деталей, пока не осуществится их соприкосновение в отдельных точках – местах выступов; высокая плотность тока, здесь создаваемая, приводит к быстрому расплавлению и частичному испарению металла на этих участках с выбросом его из плоскости стыка в виде брызг. При дальнейшем сближении в соприкосновение приходят новые точки, процесс повторяется и так далее. Сближение деталей продолжается до тех пор, пока обе поверхности стыкуемых деталей равномерно не оплавятся. Тогда производится быстрая осадка с приложением значительного давления.

Сварка оплавлением имеет ряд преимуществ: возможность получения соединений из различных сталей цветных металлов и их сплавов весьма развитого сечения (углеродистых сталей – более 100 000 мм<sup>2</sup>, алюминиевых сплавов – до 30 000 мм<sup>2</sup> и др.); высокая производительность машин (больше чем при электродуговой и электрошлаковой сварке встык таких же сечений); не требуется особая подготовка и очистка соединяемых поверхностей деталей, качество сварных соединений высокое. Однако у этого вида сварки есть и недостатки: значительный расход металла



на оплавление и осадку; необходимость удаления после сварки грата, а иногда и самого усиления; усложненная схема привода машин и узлов автоматического управления.

Стыковая сварка оплавлением применяется для соединения трубных стыков, фасонных профилей (например, стыков рельс), стержней массивного сечения, различных деталей машин и так далее.

Одним из наиболее распространенных способов контактной сварки является *точечная сварка*. При этом процессе соединяемые детали зажимают между электродами машины, имеющими форму усеченных конусов (рис. 7б), и через них пропускают ток.

Протекающий через детали ток более всего разогревает металл в месте их соприкосновения, так как здесь сопротивление току наиболее значительное. Давление, оказываемое на электроды, должно быть таким, чтобы не только преодолеть жесткость деталей, но и осуществить нужную пластическую деформацию разогретого участка металла. В итоге в зоне сварки создается своеобразное ядро сварной точки, имеющей чечевицеобразную форму. Для точечной сварки характерна высокая производительность, намного превышающая производительность автоматической дуговой сварки. Вместе с тем этот процесс высокоэкономичен, так как отсутствует расход сварочных материалов, а расход электроэнергии небольшой. Кроме того, деформации сваренных деталей очень незначительны. К достоинствам точечной сварки следует отнести простоту конструкции машины, возможность полной автоматизации процесса, комплексной автоматизации производства в целом. Но и точечная контактная сварка имеет недостатки: возможность выполнения соединения только внахлестку; отсутствие герметичности сварных швов; зависимость качества сварной точки от чистоты поверхности металла и степени сопряженности их друг с другом и др.

Наиболее эффективно применение точечной сварки в серийном и массовом производстве однотипных деталей – в автомобилестроении, с/х машиностроении, вагоностроении, угольном машиностроении, электротехнической и радиотехнической промышленности, самолетостроении и др. Машины для точечной сварки наиболее универсальны, выполняют до нескольких сотен сварных точек в минуту. Особенно целесообразно применение автоматизированных многоточечных машин и комплексных автоматических линий.

*Шовная контактная сварка* близка точечной, но в отличие от нее, машина, выполняющая этот процесс, имеет вместо конических электродов ролики, катящиеся по линии сварки и дающее сплошной, непрерывный плотнопрочный шов (рис. 7в). Обычно при шовной сварке применяется прерывистый режим работы, тогда сварной шов состоит из отдельных

сварных точек, взаимно перекрывающихся друг друга. Такой режим работы осуществляется либо за счет подачи тока в виде отдельных импульсов при непрерывном перемещении роликов, либо за счет «шагового», то есть прерывистого движения роликов, когда ток дается в момент краткой остановки роликов. Более распространены машины, работающие в режиме непрерывного вращения роликов, имеющие не столь сложную конструкцию механической части. Шовная сварка обладает рядом существенных достоинств. К их числу относятся: герметичность сварного соединения; экономичность процесса, вследствие отсутствия расхода сварочных материалов и небольшого расхода электроэнергии; возможность полной автоматизации технологического процесса. Наиболее же существенные недостатки – необходимость очистки свариваемых поверхностей от окалины, ржавчины, окислов и различных загрязнений, сравнительно невысокая скорость сварки и др.

Шовная сварка используется для соединения листов малой толщины (до 2–3 мм) в производстве автомобилей, цельносварных тонкостенных труб, тонкостенных изделий электротехнической и радиотехнической промышленности, различных металлических изделий и так далее.

Ранее было показано, что для осуществления процесса сварки металлов без их расплавления (сварка в твердой фазе) необходимо осуществить их сдавливание таким усилием, чтобы смять поверхностные выступы (неровности), то есть осуществить местную пластическую деформацию. Такой вид сварки получил название *сварки давлением или прессовой*. Требуемое давление для сварки будет тем меньше, чем выше температура свариваемого металла. Прессовая сварка за последние годы получила широкое распространение в различных областях. Об этом можно судить даже по разнообразию способов сварки в твердой фазе: термокомпрессионная, диффузионная, трением, холодная, взрывом, ультразвуковая и др. Рассмотрим кратко принципы и особенности некоторых способов сварки в твердой фазе. Одним из наиболее древних способов сварки в твердой фазе является холодная сварка. Это подтверждают, например, золотые коробочки, хранящиеся в Национальном музее в Дублине (Ирландия), которые по заключению экспертов, изготовлены в эпоху поздней бронзы с применением холодной сварки. Первые систематические исследования процесса холодной сварки были начаты в 1948 году в Англии. В настоящее время она успешно применяется для сварки изделий из пластичных металлов, таких как медь, алюминий, свинец, олово, никель и др. Холодная сварка производится при комнатной температуре на воздухе. Для осуществления прочных металлических связей между атомами свариваемых деталей требуется их совместная пластическая деформация значительной величины с целью разрушения и удаления ок-

сидных пленок из зоны контакта, что обеспечивает непосредственный контакт ювенильных поверхностей соединяемых частей. Существуют многочисленные способы холодной сварки, но наиболее широко используются точечная и шовная для нахлесточных соединений и стыковая для получения соединений встык. Точечная сварка осуществляется одновременным вдавливанием с двух сторон пуансонов в детали, собранные внахлестку и предварительно очищенные по поверхностям соприкосновения. В местах вдавливания пуансонов детали плотно сжимаются, металл пластически деформируется и выдавливается из зоны внедрения пуансонов, что и обеспечивает схватывание (сварку) металла соединяемых деталей в виде точки. Наиболее широкое применение холодная сварка находит в производстве изделий домашнего обихода из алюминия и его сплавов (чайники, кастрюли и т.п.), в электротехнической промышленности и транспорте для соединения алюминиевых и медных проводов, а также при приварке медных наконечников к алюминиевым проводам и так далее. Несомненные достоинства холодной сварки, такие как простота процесса, высокая производительность, возможность использования стандартного прессового и прокатного оборудования и другие, ставят этот вид сварки в ряд важных процессов. Следует, однако, иметь в виду и ограничения по использованию холодной сварки, которые связаны, в основном, с невозможностью осуществления большой пластической деформации многих металлов и сплавов (например, углеродистой стали, алюминий-магниевого сплава и других материалов).

К холодной сварке тесно примыкает сравнительно новый способ – **сварка взрывом**, при которой соединение металлов в твердом состоянии происходит в процессе высокоскоростного соударения соединяемых деталей, осуществляемого с помощью энергии взрывчатых веществ (ВВ). Первые случаи сварки металлов взрывом были зафиксированы в 1944–1946 годах М.А. Лаврентьевым с сотрудниками в Институте математики АН УССР в Киеве при проведении экспериментов с кумулятивными взрывами. В 50-е годы XX в. в связи с бурным развитием новой техники и применением энергии взрыва для штамповки, прессования и упрочнения металлов появилась возможность выполнять пробные эксперименты по осуществлению сварки взрывом. Было установлено, что при осуществлении нормального соударения твердых тел качественное соединение не обеспечивается. В 1964 году американские ученые Г. Кован, А. Хольцман и Дж. Дуглас запатентовали способ сварки пластин при косом их соударении, осуществляемом плоским зарядом ВВ. Начатые в 1961 году исследования сотрудниками Института гидродинамики Сибирского отделения АН СССР В.С. Седых, А.А. Дерибасом, Е.И. Бигенковым и Ю.А. Гришиным закономерностей сварки взрывом привели к созданию так называе-

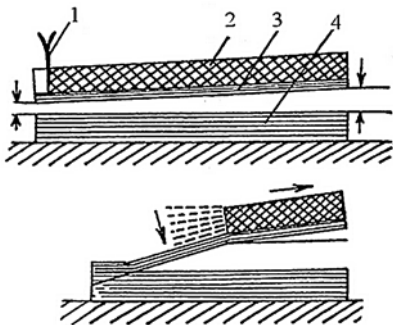


Рис. 8. Схема сварки взрывом.

сти пластины 3. Образующиеся газообразные продукты взрыва развивают огромное местное давление на метаемую пластину 3, что приводит к соударению ее со свариваемой пластиной 4 в точке контакта. По мере распространения взрывной волны точка контакта передвигается вдоль поверхности неподвижной пластины с большой скоростью. Исследования показали, что в процессе сварки взрывом наблюдается интенсивное самоочищение контактных поверхностей от различных поверхностных загрязнений и окисных пленок, которые под действием кумулятивного эффекта выносятся из зоны контакта за пределы соединяемых поверхностей. Создаются благоприятные условия для образования прочных металлических связей в твердой фазе при взаимной пластической деформации поверхностных слоев соединяемых деталей. В настоящее время сваркой взрывом соединяются детали весьма крупных размеров (с площадью соединения 15–20 м<sup>2</sup>) как из однородных, так и разнородных металлов и сплавов (нержавеющая сталь – малоуглеродистая сталь, медь – сталь, медь – ниобий и так далее.). Область применения сварки взрывом постоянно расширяется и в недалеком будущем она займет достойное место в сварочном производстве.

Важной разновидностью сварки давлением является **сварка трением**, при которой образование соединения осуществляется в твердой фазе, без расплавления свариваемых деталей. От других видов сварки давлением сварка трением отличается способом ввода тепла в соединяемые детали: нагрев деталей осуществляется путем непосредственного преобразования механической энергии в тепло благодаря работе сил трения. О возможности нагрева тел при трении известно с древнейших времен. Использование же выделяемого в этом случае тепла для целей сварки металлов было впервые практически осуществлено токарем-новатором А.И. Чудиковым, сварившим встык два стержня из низкоуглеродистой

мой «угловой схемы», сущность которой иллюстрируется на рис. 8. Свариваемые пластины 3, 4 устанавливаются друг по отношению к другу на некотором расстоянии с начальным углом. Неподвижная пластина 4 располагается на специальной массивной опоре, а заряд взрывчатого вещества 2 (ВВ) на поверхности метаемой пластины 3. Детонатор 1 инициирует взрывную волну, которая распространяется с большой скоростью вдоль плоско-

стали на токарном станке. Работы по изучению этого процесса, промышленному его применению также впервые в мире начались в 1956 году во ВНИИЭСО, почему сварку трением в иностранной печати называли «русской сваркой». Позднее работы по сварке трением стали выполняться в Чехословакии, Японии, Англии, США, Польше, Германии, Франции, Венгрии и в других странах. За относительно небольшой отрезок времени сварка трением заняла видное место среди других способов. При сварке трением тепло, необходимое для нагрева металла, выделяется в результате взаимного трения торцов соединяемых деталей. Такое трение осуществляется в результате вращения одной, реже – обоих деталей, сжимаемых усилием (рис. 9). Осевое давление, оказываемое на детали, в зависимости от свойств свариваемых металлов может быть снято одновременно с прекращением вращения, либо оставлено на некоторое время таким, каким оно было во время вращения, или даже увеличено. В процессе трения не только выделяется необходимое для сварки тепло, но и происходит освобождение соединяемых поверхностей от окислов, слоя адсорбированных газов и других загрязнений. В результате равномерного нагрева ювенильных поверхностей соединяемых торцов деталей и под действием сил сдавливания протекает пластическая деформация металла в зоне сварки и устанавливаются необходимые межатомные связи. Структура металла формируется здесь мелкозернистая, лишенная каких-либо включений и дефектов. Поэтому сварное соединение, полученное сваркой трением, обладает высокой прочностью и пластичностью. Для сварки трением применяется специализированное оборудование, в котором механизмы вращения деталей и привода сдавливания их (или осадки) должны обладать большой мощностью, особенно для соединения деталей крупного сечения.

К достоинствам сварки трением можно отнести: малое время нагрева деталей и небольшой расход электроэнергии, так как тепло выделяется только в тонком поверхностном слое деталей. Поэтому удель-

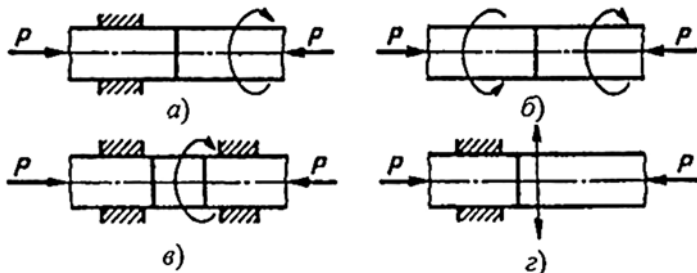


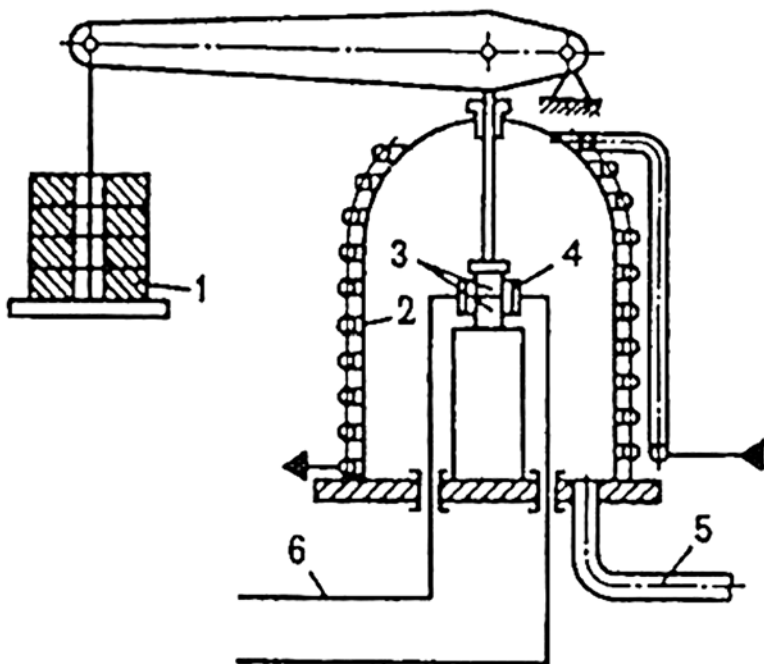
Рис. 9. Схема сварки трением.

ная потребляемая мощность, соотношенная к единице сечения при сварке трением, составляет 8–20 Вт/мм<sup>2</sup>, а при контактной сварке того же сечения 100–250 Вт/мм<sup>2</sup>; производительность процесса высокая, не уступающая контактной сварке, получаемые сварные соединения обладают необходимой прочностью и пластичностью; возможность качественной сварки разнородных металлов и сплавов, например, алюминия со сталью, титана с алюминием, меди со сталью и других сочетаний; возможность сварки деталей, освобожденных от окалины, но с необработанными и загрязненными концами; отсутствие различных вредных выделений в процессе сварки (газов, брызг металла, излучений, флюсовой пыли и др.), что позволяет устанавливать машины для сварки трением в механообрабатывающих цехах; простота механизации и автоматизации процесса сварки. Вместе с тем сварка трением не лишена и недостатков. Это ограниченность типа свариваемых деталей стыковыми соединениями стержней, деталями, имеющими форму тел вращения (сплошного или трубчатого сечения); значительная мощность сварочных машин по силовым характеристикам, высокая их стоимость, ограничение по сечению свариваемых деталей (до 30 000 мм<sup>2</sup>); необходимость зачистки сварного стыка от грата.

СССР является родиной еще одного, сравнительно молодого способа сварки давлением – *диффузионной в вакууме*. Способ диффузионной сварки в вакууме был разработан в 1953 году Н.Ф. Казаковым. Значительную роль в дальнейшем развитии этого способа сыграли работы ряда научно-исследовательских институтов – Института металлургии им. А.А. Байкова (М.Х. Шоршоров), ЦНИИТМАШа (А.С. Гельман), Института электросварки им. Е.О. Патона (Б.С. Касаткин, А.И. Макара) и других организаций. Диффузионная сварка открыла новые возможности соединения металлических и неметаллических материалов, которые другими способами сварки трудно или вообще невозможно было осуществить. Этим способом освоена сварка около 400 композиций металлов, сплавов и неметаллических материалов. Диффузионная сварка в вакууме получила широкое признание и за рубежом в промышленно развитых странах: она используется в США, Англии, Японии, Германии, Швеции, Франции, Бельгии при изготовлении изделий новой техники. В 1982 году цикл работ по диффузионной сварке был удостоен Ленинской премии. Диффузионная сварка основана на нагреве деталей до повышенной температуры с одновременным сдавливанием их. Протекающие при этом явления можно условно разделить на две основные стадии. Для первой характерно (как и при холодной сварке) установление межатомных связей по всей площади соединяемых поверхностей вследствие протекающей

под действием сжатия пластической деформации металла, удаления поверхностных пленок окислов, газов и других загрязнений, мешающих формированию таких связей. Вакуумная же среда, в которой протекает процесс сварки, предупреждает новое образование окислов и адсорбированных газов на соединяемых поверхностях. Явления, протекающие в зоне соединения деталей на второй стадии диффузионной сварки, обусловлены нагревом и сводятся к взаимной диффузии атомов свариваемых металлов, усиливаемой давлением, оказываемым на детали. Этот процесс, заканчивающийся формированием структуры в зоне соединения, в большинстве случаев влияет упрочняющим образом на сварное соединение. Схема процесса диффузионной сварки показана на рис. 10.

Свариваемые детали 3 помещают в вакуумную камеру 2 и слегка поджимают друг к другу с помощью прижима 1. После откачки воздуха из камеры через трубопровод 5 и создания необходимого вакуума детали нагревают обычно токами высокой частоты при помощи индуктора 4 до соответствующей температуры (0,7–0,8 Тпл), после чего к ним механизмом прижима 1 установки прикладывают усилие сжатия и в таком состо-



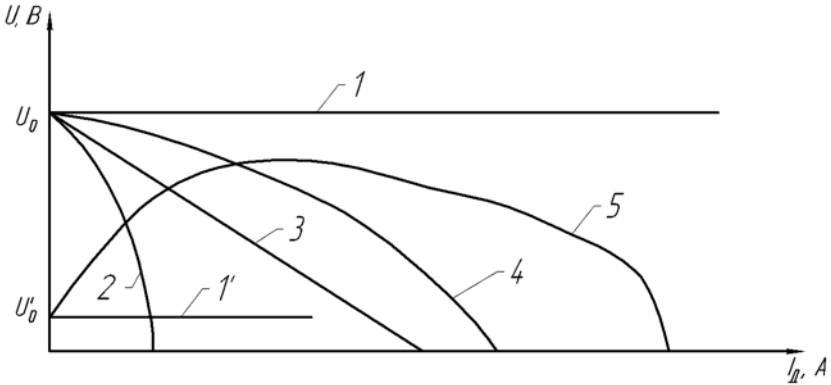
*Рис.10. Схема диффузионной сварки в вакууме.*

янии детали выдерживают в течение некоторого времени, зависящего от свойств свариваемых материалов, величины давления и других факторов. После сварки детали охлаждают либо в камере, либо на воздухе. К достоинствам диффузионной сварки в вакууме следует отнести следующие: получение соединений высокого качества при любых сочетаниях материалов – металлов, сплавов и неметаллов (керамические и металлокерамические сплавы); отсутствие расплавления, а значит и резкого различия в структурах в зоне соединения и прилегающих к ней участках; незначительная или нулевая деформация сваренных деталей, позволяющая сваривать их после окончательной обработки; безопасность, простота обслуживания установок, отсутствие вредных выделений в окружающую среду (лучистой энергии, газов, пыли и пр.). К недостаткам процесса относится: необходимость предварительной механической обработки заготовок, чтобы уменьшить неровности и микровыступы на соединяемых поверхностях; повышенная трудоемкость процесса из-за сборки, нагрева и сварки деталей в герметичной вакуумной камере, что усложняет задачу комплексной автоматизации процесса; большая продолжительность формирования сварного соединения.

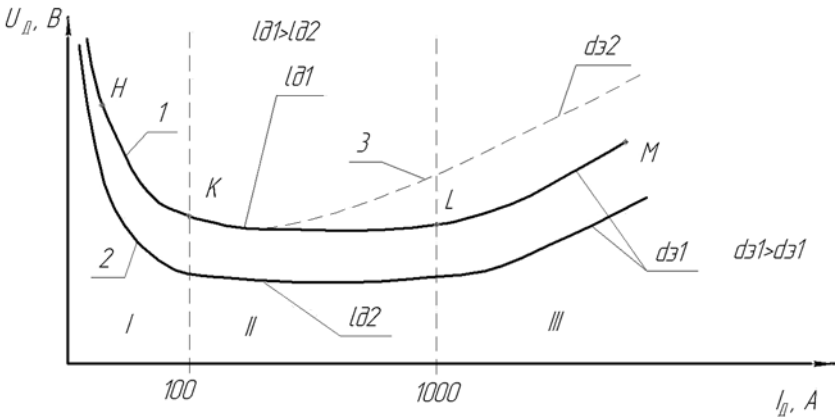
Этот способ сварки нашел промышленное использование в производстве электровакуумных приборов, инструмента, различных деталей из биметаллических материалов и др. Диффузионная сварка в вакууме относится к весьма перспективным процессам и найдет дальнейшее значительное применение в электронной, космической, авиационной и других важнейших отраслях техники.

В заключение отметим, что в настоящее время получили широкое распространение и другие разнообразные способы сварки давлением, такие, например, как ультразвуковая, индукционная, магнитно-импульсная и другие.





**Рис. 1.** Виды вольтамперных характеристик источников питания.  
 1' – жесткая у гальванического элемента и аккумулятора;  
 1 – жесткая у современных силовых источников питания;  
 2 – крутопадающая (генератор у Бенардоса);  
 3 – линейная в батарее аккумуляторов Бенардоса и в батарее Петрова;  
 4 – общая характеристика генератор + аккумуляторы у Бенардоса;  
 5 – характеристика генератора Славянова с последовательной обмоткой возбуждения.



**Рис. 2.** Вольтамперные характеристики сварочных дуг:  
 I – падающая;  
 II – жесткая;  
 III – возрастающая ветви вольтамперной характеристики дуги;  
 $l_d$  – длина дуги;  
 $d_3$  – диаметр электрода (проволоки).

## СОДЕРЖАНИЕ

Л. Битинская. Инженер, изобретатель, ученый .....	3
Ю. Николаев. Он был российского дворянства прекрасный пример .....	27
В. Каратыш. Серебряный век освоения дуги .....	53
Ю. Щицын. Сварка сегодня .....	82
Приложение .....	115

## Слово о Славянове

### **К 125-летию изобретения Н.Г. Славяновым электрической сварки плавящимся электродом**

Редактура, дизайн, вёрстка – В. Городов.



Н. Сивянова