

А. А. ЧЕКАНОВ

Современная техника широко использует сварку материалов. Из многочисленных способов сварки первое место по количеству и стоимости выпускаемой продукции, числу занятых рабочих и действующих установок занимает дуговая электросварка. Ведущее место в формировании и развитии этого важного технологического процесса современной промышленности принадлежит нашей стране.

В 1981 г. во всем мире по решению ЮНЕСКО отмечено 100-летие электрической дуговой сварки.

Дуговую электросварку впервые осуществил в 1881 г. талантливый русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос. Он является творцом основных видов электрической дуговой сварки, получивших сейчас широкое развитие во всех промышленных странах. «Нужно отметить одну отрасль техники, где, как и в деле электрического освещения,— писал известный отечественный электротехник, член-кор. АН СССР М. А. Шателен,— труды русских электриков имели важнейшее значение. Это — область электрической сварки» [1, с. 28]. Ученый подчеркивал, что способы дуговой электросварки, изобретенные Н. Н. Бенардосом и затем усовершенствованные Н. Г. Славяновым, долгие годы были единственными применявшимися на практике.

Н. Н. Бенардос родился 26 июля (7 августа) 1842 г. в имении отца, в дер. Бенардосовке Елисаветградского уезда Херсонской губернии (ныне с. Мостовое Братского района Николаевской области). Юношу не привлекала военная карьера деда и отца. Он, получив по обычаю того времени домашнюю подготовку, поступил в 1862 г. на медицинский факультет Киевского университета, хотя с юных лет проявлял большее влечение к всевозможным ремеслам, пытался совершенствовать и создавать новые технические конструкции.

В 1866 г. Бенардос перевелся в только что открывшуюся Московскую Петровскую земледельческую и лесную академию (ныне Тимирязевская сельскохозяйственная академия), однако не закончил ее, посвятив себя целиком изобретательской деятельности. К этому времени у него уже зародился ряд идей и изобретений.

Весной 1867 г. Бенардос, получив в академии отпуск, уезжает на Всемирную выставку в Париж. Вернувшись через несколько месяцев оттуда, он построил на лесной усадьбе в Костромской губернии отлично оборудованные мастерские. Достаточно сказать, что изобретенный им пароход-вездеход был полностью изготовлен в них; там же были также разработаны усовершенствованные сеялки, плуги, жатвенная машина и ряд других устройств и машин.

Анализируя далеко не полный перечень изобретений Бенардоса, поражаешься широтой интересов их творца, разносторонностью и глубиной его знаний, поразительной трудоспособностью и огромным изобретательским талантом. Глубокий ум и поразительная изобретательность Бенардоса сочетались с неугасимой верой в могущество техники. Не получая материальной поддержки, он все работы, связанные с изобретениями, проводил за свой счет и постоянно жил в условиях жалкой материальной нужды. Осуществление изобретений, получение и продление патентов¹, оплата их пошлин в России и за границей стоили очень дорого. Бенардос не извлекал из них доходов. Даже крупнейшее изобретение — дуговая электросварка металлов — не принесло улучшения его материального положения.

Не случайно Бенардос пришел к электротехнике. Он видел необозримые перспективы промышленного применения электричества. Исследование архивных материалов Ивановского и Костромского областных государственных архивов позволяет сделать вывод, что именно в начале 1881 г. в усадьбе Привольное Бенардос впервые в мире соединял свинцовые пластины аккумуляторов, расплавляя их кромки теплом электрической

¹ Патент, или привилегия,— документ, свидетельствующий о праве изобретателя на его изобретение. За пользование этим правом изобретатель уплачивал налог, который назывался патентной пошлиной.

дуги с помощью угольного электрода [2, с. 55—57; 3, с. 57—58]. Именно аккумуляторам и сварке посвящает в дальнейшем все свое время изобретатель. Совершенствование одного помогает в работе над другим.

Не находя приложения для своих изобретений в отсталой тогда русской промышленности, Бенардос неоднократно совершает заграничные поездки. Подолгу проживая во Франции, Испании, Англии, он продолжает энергично заниматься изобретательством в области электротехники.

Его свинцовые аккумуляторы вначале применялись для освещения, затем он создал буферную батарею специально для сварочных работ, характеризующихся резкими толчками электрического тока. И когда в 1881 г. во Франции должны были состояться первая Международная электрическая выставка и Международный конгресс электриков, Бенардос уезжает в Париж, где в лаборатории Кабата летом того же года демонстрирует свой новый способ сварки с использованием теплоты электрической дуги. Об этом писалось в статье «Электрическая обработка металлов» в парижском журнале «Ланатюр» («Природа») за июнь 1887 г. В ней приведено описание способа дуговой электрической сварки металлов и указано, что это изобретение принадлежит Бенардосу, начавшему первые опытные работы в этой области в 1881 г. [4, с. 57, 58]. В сообщении отмечалось, что инженером Ж. Сарсна была произведена демонстрация способа Бенардоса во Французском физическом обществе и что этот способ электросварки успешно применяется в мастерской П. Лагранжа. Автор находит способ Бенардоса простым, практичным, заслуживающим широкого распространения и предсказывает ему большую будущность. Указания о приоритете русского изобретателя в изобретении дуговой электросварки имеются и в других зарубежных научно-технических публикациях, относящихся к концу прошлого столетия.

О первых работах Бенардоса в области дуговой электросварки в известном французском «Электротехническом словаре» Дюмона указывалось следующее: «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» [1, с. 284]. Вероятно, Дюмон не знал о том, что Бенардос еще в России перед отъездом в Париж уже осуществил дуговую электросварку свинцовых пластин аккумуляторов, т. е. сделал первые попытки использования дуговой электросварки.

«Сварка железа,— отмечалось в статье „Обработка металлов с помощью электричества“, опубликованной в одном французском издании,— с помощью электричества известна с 1881 года. Первое применение этого способа принадлежит, как известно, Бенардосу» [5, с. 513]. Обращает на себя внимание слова «как известно». Следовательно, приоритет нашего соотечественника не оспаривался. Указывалось и на большое значение нового способа сварки и на его широкую будущность.

Разумеется, на приоритет Бенардоса указывали и русские ученые. Председатель VI Отдела РТО В. Я. Флоренсов в 1892 г. в речи, посвященной развитию электротехники за 20 лет, произнесенной при открытии в Петербурге IV Электрической выставки, отметил, что «... применение электричества к свариванию металлов получило широкое развитие в Америке, Англии, Франции, Австрии и Германии и меньше всего в России, хотя впервые этот способ был разработан русским изобретателем Н. Н. Бенардосом, коего экспонаты могут свидетельствовать об изящности и практичности этого способа» [6, с. 17, 18]. Реферируя статью французского инженера Ж. Сарсна «Способ г. Бенардоса электрической обработки металлов», опубликованную в «Lumière électrique» (1887, № 25), Л. Геркен в киевском журнале «Инженер» за 1887 г. подчеркивал, что Бенардос уже в 1881 г. использовал тепло вольтовой дуги для сварки свинцовых листов [7, с. 386, 387].

Возвратившись из-за границы в Петербург в 1884 г., Бенардос с увлечением продолжал разработку дуговой электросварки. Он не торопится брать патент на свое изобретение. Только в 1885 г., после тщательнейшей доработки самого метода и его промышленного применения, он обратился в Департамент торговли и мануфактур с просьбой о выдаче ему привилегии на его изобретение «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока». 31 декабря 1886 г. ему была вы-

дана 10-летняя привилегия за № 11 982. Свое изобретение Бенардос назвал «электрогефест» в честь мифического бога Гефеста².

В привилегии, полученной Бенардосом, сущность изобретения и возможные области его применения изложены следующим образом: «Предмет изобретения составляет способ соединения и разъединения металлов действием электрического тока, названный «электрогефестом» и основанный на непосредственном образовании вольтовой дуги между местом обработки металла, составляющим один электрод, и подводимой к тому месту рукояткою, содержащей другой электрод, соединенный с соответственным полюсом электрического тока. Помощью этого способа могут быть выполнены следующие работы: соединение частей между собою, разъединение или разрезывание металлов на части, сверление или производство отверстий и полостей и наплавление слоями».

Как видно из привилегии, Н. Н. Бенардос применял созданный им способ весьма широко — для соединения металлов и для наплавочных работ. Последние выполнялись не только с целью восстановления изношенных поверхностей при ремонте деталей машин, но и для создания износоустойчивых поверхностей при изготовлении новых машин. Бенардос предлагал также изготовление двухслойных металлов. Он рекомендовал и проводил работы по нанесению на режущие кромки инструмента слоя твердой стали. Таким образом Бенардос производил сварку не только однородных, но и разнородных металлов.

Хорошо понимая эффективность и достоинства своего изобретения, Бенардос в своей привилегии сформулировал основные преимущества новой технологии обработки металлов: скорость процесса, уменьшение по сравнению с клепанными весами изделия вследствие отсутствия накладок и заклепочных головок, непроницаемость сварного стыка, что особенно важно при изготовлении котлов, корпусов судов и других изделий [8, с. 10]. Он указывал, что способ этот применим даже в тех случаях, когда ни один из известных до сего времени способов не мог быть употреблен на месте без разборки аппаратов.

В последнее время дуговую электросварку по способу Бенардоса обычно истолковывали как сварку только угольным электродом. Но такая трактовка не вполне точна. Ни в архивных документах, ни в привилегии Бенардоса не содержится каких-либо ограничений в отношении применяемого материала и формы электрода. Анализ описания и чертежа к привилегии показывает, что Бенардосом еще при заявке была самым тщательным образом разработана технология не только ручной сварки в том виде, в каком она применяется в настоящее время, но и сварочная аппаратура, в том числе различные устройства (полуавтоматы) для механизированной сварки. Для улучшения качества сварки Бенардос применял флюсы: при сварке сталей кварцевый песок и мрамор, при сварке меди буру и нашатырь.

Изобретателем были разработаны рациональные способы соединения сварных швов встык, внахлестку, заклепками; различные формы подготовки кромок под сварку в зависимости от толщины свариваемых изделий, а также технология резки металлов. Все это является итогом систематической многолетней напряженной работы. Этим, т. е. исключительно тщательно и глубоко продуманной разработкой привилегии, а также прочной на практике многих ее положений и объясняется относительно позднее получение автором патента на свое изобретение.

Способ «электрогефест» Бенардос запатентовал в 1885—1887 гг. кроме России также в большинстве промышленно развитых стран — во Франции, Испании, Великобритании, Бельгии, США, Германии, Швеции, Норвегии, Австро-Венгрии, Швейцарии. Имя Бенардоса получает широкую известность в научных и технических кругах в России и за границей. В Россию устремился поток иностранцев для ознакомления с «электрогефестом» с целью применения нового технологического процесса сварки металлов в своих странах. Петербург посещают крупные заграничные ученые. Популярности изобретения Бенардоса в Западной Европе весьма способствовало всестороннее освещение этого нового процесса сварки в технической литературе («электрогефест» тогда называли «гигантом в колыбели») и специальными докладами видных ученых и инженеров на заседаниях различных научно-технических обществ.

² Гефест — один из богов древнегреческих мифов. Это бог-кузнец, бог огня, покровитель искусств и ремесел, основанных на использовании огня. В римской мифологии этот бог носил имя Вулкана. Как известно, «Вулканом» назвал Институт электросварки созданную им установку для сварки в космосе.

Одним из таких людей, современников изобретателя, способствовавших популяризации метода Бенардоса, был русский ученый, физик и электротехник проф. Д. А. Лачинов, давший в одной из своих статей описание посещения им мастерской Бенардоса. Он присутствовал в апреле 1887 г. на опытах Бенардоса вместе с другими представителями науки и техники, в том числе с приехавшим из Берлина немецким ученым, проф. Хемницкого политехникума Рихардом Рюльманом. Упомянув о парижских опытах Бенардоса по резанию рельсов электрической дугой и по плавлению металлов под водой, Лачинов отметил разнообразие применений «электрогефеста» и указал на возможность изготовления при помощи «электрогефеста» кавказского нефтепровода. Ученый считал самым важным в дальнейшей судьбе нового изобретения вопрос о прочности сварки. Парижские испытания на разрыв показали, что при сварке круглого железа встык прочность сварки лежала в пределах от 75 до 99% сравнительно с прочностью основного металла. Прочность сварки листового железа оказалась равной 80%. Таким образом, Бенардос проводил в Париже не только опыты по сварке и резке с помощью электрической дуги, но и занимался научно-исследовательской работой. В заключение Лачинов отмечал: «„Электрогефест“, конечно, не остановится на теперешней точке, но будет совершенствоваться. Ближайший путь к усовершенствованиям уже намечен изобретателем: он заключается в предварительном подогревании спаиваемых предметов, благодаря которому будет избегнута непомерная разность температур соседних мест, следствием чего должно явиться увеличение прочности» [9, с. 64].

Лачинов сделал подробный доклад об этом изобретении на заседании Русского физико-химического общества, где также весьма положительно оценил работу Бенардоса. Подобные доклады других ученых были заслушаны на заседании членов Общества инженеров-судостроителей в Ньюкэстле, в Лондонском институте инженеров-механиков и др.

Проф. Р. Рюльман, не только присутствовавший при указанных опытах, но и изучивший впоследствии на месте, в опытной мастерской Бенардоса, способ «электрогефест», поместил подробное описание этого изобретения во многих русских и иностранных журналах. Изобретение Бенардоса породило в нем твердое убеждение «в том, что названный способ обработки металлов призван и способен сделаться новым и весьма ценным вспомогательным средством в техническом мире» и повлиять «вполне преобразовательно» на целые отрасли настоящего «металлического производства». Рюльман считал, что «несомненно, в недалеком будущем электрическая сварка заменит собой в весьма многих случаях соединения заклепками... как неспециалист в производстве котлов, я не могу найти причины, почему на будущее время не предпочтут изготовление не только огневых труб, но и самих котлов из электрически спаянных листов без заклепок» [10, с. 153]. Рюльман также придавал большое значение экономичности способа «электрогефест».

По возвращении из Петербурга в Германию Р. Рюльман в октябре 1887 г. сделал обширный доклад о способе сварки Бенардоса перед собранием германских электротехников в Берлине. При этом Рюльман высказал мнение, что разработанное Н. Н. Бенардосом применение электрической энергии для обработки металлов станет в истории техники наравне с изобретением паровой машины, телеграфа, телефона, электрического освещения и электрической передачи механической энергии. К мнению Рюльмана присоединился с величайшей похвалой высказавшийся об изобретении присутствовавший на собрании знаменитый электротехник Вернер Сименс.

Несмотря на всю очевидность и бесспорность заслуги Н. Н. Бенардоса в изобретении способа дуговой электросварки, его приоритет за рубежом все же неоднократно оспаривался. Немедленно после того, как стало известно об изобретении Бенардоса, в иностранных журналах появились статьи о других изобретателях электрической сварки. Например, французский автор Де-Монто утверждал, что еще в 1881 г. на способ электрической сварки, подобный способу Бенардоса, был выдан французский патент г. Меритану. На это утверждение редакция русского журнала «Электричество» отвечала, что не только Меританс, но и многие другие изобретатели разрабатывали идею использования электрической дуги для сварки и получали привилегии на предлагаемые способы. Такой патент получил, например, в Англии американец Стэд. Однако никто из этих изобретателей не разработал практического метода дуговой электрической сварки и не приложил его к делу. «Изобретение г. Бенардоса,— писал журнал «Электричество»,— есть многолетний труд над идеей пайки металлов посредством электричества, результатом

чего явилась полная система обработки металлов электричеством, что и подтверждается фактами применения способа г. Бенардоса во многих странах, многими заводами, а также и отзывами целых комиссий и известных авторитетных лиц» [11, с. 136]. Ни Де-Монто, ни другие лица не смогли ничего возразить на это справедливое замечание журнала «Электричество».

Защищая приоритет Бенардоса, доктор Р. Рюльман писал: «Вопрос этот разработан изобретателем настолько, что электрическое паяние может вполне уже применяться на практике» [10, с. 147].

В 1885 г. в Петербурге организовывается товарищество «Электрогефест» по эксплуатации и внедрению изобретения Бенардоса и открывается показательная мастерская сварочных работ по его способу. Однако для быстрого и широкого распространения дуговой электросварки в стране у товарищества не имелось ни необходимых капиталов, ни требуемой производственной базы, ни организаторского опыта: оно занималось главным образом продажей лицензий и консультациями и в какой-то мере способствовало пропаганде изобретения Бенардоса. Кроме объективных причин, тормозивших внедрение сварки, были и субъективные, а именно недоверие к новому, необычному в то время способу соединения металлов. Первое время электросварка применялась в России полулегально, так как не было разрешения от соответствующих административно-технических органов. Однако сварка даже в то время использовалась и в таких ответственных работах, как ремонт паровозных рам, паровозных и вагонных колес, корпусов паровых машин, паровых котлов и др.

В 1895 г. в Петербурге по инициативе действительного члена «Электротехнического общества» инженера А. А. Троицкого организовалось «Русское товарищество электрической обработки металлов». Новое товарищество стремилось применить не только изобретения Бенардоса, но и другого выдающегося русского изобретателя в области дуговой электросварки — Н. Г. Славянова. Новое товарищество включило в свой состав и общество «Электрогефест» [12].

Бенардос, поставивший главной целью широкое практическое использование своего способа сварки, нередко выезжал в железнодорожные мастерские и на машиностроительные заводы. В результате дуговая сварка по способу Бенардоса впервые была применена в Иваново-Вознесенске в кузнечно-котельном отделении Куваевской мануфактуры и на машиностроительном заводе при ремонтных работах и изготовлении варочных кубов из листового железа толщиной более 12 мм. К этому времени метод Бенардоса начал широко применяться в Австрии, Англии, Франции и Германии.

Прогрессивная научно-техническая общественность высоко оценила деятельность Бенардоса. На IV Электрической выставке в Петербурге в 1892 г. изобретатель дуговой электросварки был удостоен высшей награды Русского технического общества — золотой медали. Петербургский электротехнический институт в 1899 г. присвоил Бенардосу (не прошедшему курса высшей технической школы) звание почетного инженер-электрика, поставив его в один ряд с такими выдающимися русскими изобретателями, как А. С. Попов и А. Н. Лодыгин. «А. С. Попов, Н. Н. Бенардос и А. Н. Лодыгин заслуживают введения в почетное звание инженер-электрика, как выдающиеся русские изобретатели в области электротехники, первый по телеграфированию без проводов, второй по электрической сварке металлов и третий по устройству ламп накаливанию» [13, с. 330].

* *
*

Можно поражаться тому, насколько далеко предвидел Бенардос развитие предложенного способа сварки, ибо многие указанные им области применения сварки являются предметом разработок настоящего времени. В процессе работы над совершенствованием способов дуговой сварки Бенардос создал большое количество высокоэффективных оригинальных устройств, приспособлений, а также технологических приемов. В частности, он разработал большое количество своеобразных угольных и металлических электродов различной формы. Многие из разработанных Бенардосом конструкций электрододержателей применяются и в настоящее время. Это свидетельствует о перспективности идей, заложенных создателем «электрогефеста» в разработанные им конструкции электрододержателей.

Стремясь образовать защитную среду в зоне сварки, Бенардос предложил специальные комбинированные электрододержатели (газоэлектрические «паяльнички») для подогрева металла вокруг свариваемого места. Эти электрододержатели имели вокруг угольного электрода концентрически расположенные сопла, с помощью которых в зону дуги подавался светильный газ (для защиты расплавленного металла от вредного влияния воздуха) и кислород. Вероятно, Бенардос и не подозревал о том, что создал не просто оригинальный электрододержатель, а разработал, дал идею весьма прогрессивной и эффективной сварки в струе газа. «Работа дугой совместно с газами,— писал Бенардос,— служит для увеличения поля нагрева и раскисления поверхностей обрабатываемых металлов» [14].

Первоначально исследования по газовой защите (водород) проводились в 20-х годах в США, но результаты оказались неудачными. В конце 30-х годов там же впервые широко развилась дуговая сварка в инертных защитных газах (аргон, гелий). Для широкого использования при изготовлении обычных массовых изделий сварка в инертных газах оказалась неприемлемой из-за их высокой стоимости и дефицитности.

Во многих странах начались поиски более дешевых и доступных заменителей инертных газов. Честь нового эффективного решения этой весьма сложной задачи принадлежит советским специалистам. В 1949—1951 гг. в Институте электросварки им. Е. О. Патона для сварки угольным электродом бортовых швов на тонколистовой стали успешно применили углекислый газ [15]. В 1952 г. в ЦНИИТМАШе К. В. Любавский и Н. М. Новожилов получили положительные результаты по сварке в углекислом газе и разработали металлургические основы этого процесса. Способ дуговой сварки в углекислом газе быстро вошел в практику крупнейших заводов и совершил буквально триумфальное шествие по планете, охватив за два—три года все промышленно развитые страны. Сейчас это один из основных механизированных способов дуговой сварки.

Многие разработки Бенардоса в области усовершенствования дуговой электросварки в настоящее время нашли широкое применение. Например, впервые предложенные им трубчатые электроды, которые заполнялись сыпучей шихтой с целью получения наплавок с особыми, чаще всего износостойкими свойствами, получили дальнейшее развитие в работах Института электросварки им. Е. О. Патона. В 50-х годах сотрудниками института был разработан высокоэффективный способ сварки и наплавки металлов с использованием порошковой проволоки, который обеспечивает высокую производительность за счет высоких плотностей тока и непрерывности процесса. Полуавтоматическая сварка порошковой проволокой эффективно используется во многих отраслях промышленности и в строительных монтажных работах.

Н. Н. Бенардос впервые предложил метод сварки вертикальных швов с принудительным формированием шва. Для этой цели он использовал угольные пластины, которые прижимались к местам сварки особыми пружинами и по мере образования сварного шва передвигались снизу вверх с помощью шарнирного устройства. И это изобретение Бенардоса не осталось вне поля зрения ученых и инженеров. В 1948 г. в Институте электросварки был предложен и разработан метод автоматической сварки вертикальных швов с принудительным их формированием [16]. В конце 40-х годов этим способом была произведена автоматическая сварка кожуха самой мощной в то время доменной печи на заводе «Азовсталь». И сейчас способ вертикальной автоматической сварки широко используется в строительстве, судостроении и других отраслях народного хозяйства.

В современной промышленности получил развитие способ изготовления спиральных труб из металлической ленты, которую сваривают по винтовой линии стыка, образующегося при свертывании ленты. Идея этого способа принадлежит также Бенардосу. Еще в 1892 г. на IV Электрической выставке в Петербурге он демонстрировал образец трубы, сваренной по винтовой образующей линии.

Следует отметить, что аккумуляторные батареи Бенардоса, подзаряжаемые в перерывах между сваркой, были очень устойчивыми в работе и отличались большим сроком службы. Например, на московском заводе «Серп и молот» (бывший завод Гужона) установка Бенардоса для электросварки проработала более 30 лет: она была разобрана только в 1931 г.

Большое влияние на распространение способа дуговой электросварки оказали усовершенствования в сварочных машинах, позволившие отказаться от применения дорогостоящих и неудобных в эксплуатации батарей аккумуляторов, и возникшая возможность

использования для этих целей переменного тока. Сварочные аппараты стали питаться током от общей заводской установки, требуемые напряжения и токи получались с помощью трансформаторов.

Бенардос является основоположником механизации и автоматизации сварочных процессов. С первых шагов развития электросварки он уделял данной проблеме большое внимание. Понимая, что ручной труд сварщика не может быть высокоэффективным, Бенардос работал над созданием всевозможных механизированных приспособлений и устройств для автоматического регулирования длины сварочной дуги. В частности, Бенардос впервые предложил использовать при сварке металлическим электродом при переменном токе электродержатель с автоматическим регулятором длины сварочной дуги. По своей конструкции он весьма схож с горелками, впоследствии созданными для атомно-водородной сварки. Бенардос четко уловил сущность механизации и автоматизации процессов сварки. Он неоднократно подчеркивал, что «сварка бывает ручная, где нагревание частей производится рукой рабочего... или сварка бывает машинная, где вся работа производится сварочной машиной, которая автоматически нагревает дугой свариваемый шов и уплотняет, прокатывая его вальцами» [14].

Идеи Бенардоса были использованы в наше время при разработке нового высокоэффективного способа сварки — автоматической сварки под слоем флюса, ознаменовавшей собою целую эпоху в развитии сварочной техники в СССР. Е. О. Патон указывал, что при создании способа автоматической сварки под флюсом сотрудники Института электросварки использовали свой 10-летний опыт работы, а также результаты научных исследований, выдвинутых основоположниками электродуговой сварки Н. Н. Бенардосом и Н. Г. Славяновым.

Об истории, современном состоянии и перспективах развития сварки в нашей стране рассказано в только что вышедшей обстоятельной двухтомной коллективной монографии «Сварка в СССР», 1981.

Литература

1. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1955.
2. Бочков В. Е. Новое о Бенардосе.— Сварочное производство, 1972, № 10.
3. Бочков В. Е. Новые документы об изобретателе электросварки Н. Н. Бенардосе и ее первом промышленном применении.— Электротехника, 1972, № 11.
4. Hospitalier E. La travail électrique des métaux. Nature, 1887, 25 juin.
5. Travail électrique des métaux.— Annales des ponts et chaussées. Mamouires, 1888, t. 15, № 3.
6. Флоренсов В. Я. Речь при открытии IV Электрической выставки.— Электричество, 1892, № 2.
7. Геркен Л. Способ г. Бенардоса электрической обработки металлов.— Инженер, 1887, № 8—9.
8. ЦГИАЛ, ф. 24, оп. 4, ед. хр. 69.
9. Лачинов Д. А. Электрическое паяние металлов по способу «электрогефет».— Электричество, 1887, № 7.
10. Рюльман Р. Способ г. Бенардоса электрического спаивания и сваривания.— Электричество, 1887, № 14, 15.
11. Редакционная статья.— Электричество, 1887, № 13.
12. Троицкий А. А. О современном положении дела электрической обработки металлов по способам Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова. Спб., 1895.
13. ГИАЛ, Электротехнический институт. Фонд 990, оп. 211, д. 2708.
14. Архив АН СССР, ф. 585, оп. 1/1203.
15. Патон Е. О. Сварка угольной дугой в атмосфере углекислого газа.— Автогенное дело, 1950, № 11.
16. Патон Е. О. Автоматическая сварка швов с принудительным формированием.— Автогенное дело, 1950, № 11.