

История сварочной техники и технологии

# Дуговая сварка покрытыми электродами

# Дуговая сварка покрытыми электродами



Оскар  
Кьельберг  
(1870-1931)

В 1904 г. О. Кьельберг основывает фирму «ЭСАБ» по производству электротехнического оборудования для судостроения, которая в настоящее время известна сварщикам всего мира высококачественным сварочным оборудованием, материалами и технологиями. Начинаются его исследования по сварке, в результате которых в 1907 г. был создан **плавящийся электрод в виде отрезка проволоки, покрытого с помощью клея порошком силикатов.**

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

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Непокрытым оставался только один конец, который вставлялся в электрододержатель и торец электрода на другом конце, которым зажигали дугу. Однако «защита» была очень слабая.

Расплавленные силикаты обволакивали конец электрода, но поверхность капель металла не полностью покрывалась шлаком.

Компоненты воздуха – азот и кислород – могли контактировать и взаимодействовать с металлом.

Несмотря на это, качество металла удалось улучшить.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Существенно улучшил электродное покрытие англичанин А. Стромелгер в 1911 г.

Он предложил обматывать металлический стержень асбестовым шнуром, пропитанным силикатом натрия (жидким стеклом). Тонкая алюминиевая проволока наматывалась поверх покрытия. Шлака от такого покрытия образовывалось столько, что обеспечивалась **достаточно надежная защита и образующихся капель металла и сварочной ванны**. Алюминий выступал в роли **раскислителя и обеспечивал удаление кислорода**.

Под названием «**Квази-арк**» эти электроды распространились по Европе и Америке.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

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

В 1917 г. в Америке выпускали 8 типов специализированных электродов, отличающиеся друг от друга маркой стали, из которой изготовлен электрод.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В 1917 году американские ученые О. Андрус и Д. Стреса изобрели новый тип электрода.

Стальной стержень был обернут полосой бумаги, приклеенной силикатом натрия. Бумага при горении электрода давала дым, который **оттеснял воздух из зоны сварки**. Обнаружилось еще одно интересное свойство покрытия – **дуга зажигалась сразу, с первого касания, и не гасла при удлинении**.

В 1925 г. англичанин А.О. Смит несколько изменил конструкцию штучного электрода: на бумагу с помощью жидкого стекла наносились порошкообразные компоненты, улучшающие защиту и легирующие металл шва. По мере добавления различных компонентов **покрытие становилось толще, а качество наплавленного металла – лучше**.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В этом же 1925 году французские изобретатели О. Саразен и О. Монейрон разработали покрытие, которое толстым слоем наносилось на металлический стержень.

Компонентами в рецепте покрытия стали соединения щелочных и щелочноземельных металлов: полевой шпат, мел, мрамор, сода.

Элементы (калий, натрий и кальций) обладают **низким потенциалом ионизации, что обеспечивает легкое возбуждение дуги и поддержание ее горения.**

В октябре 1914 г. С. Джонсу был выдан британский патент на метод получения электрода, покрытие которого наносилось **методом опрессовки.**

Металлический стержень проталкивался через фильеру одновременно с шихтой, ложившейся на стержень.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

К концу 20-х годов прошлого века электроды с обмазкой содержали специальные компоненты:

- **газообразующие** – оттесняющие воздух из зоны сварки;
- **легирующие** – улучшающие состав и структуру металла шва;
- **шлакообразующие** – защищающие расплавленный и кристаллизующийся металл от взаимодействия с газовой фазой;
- **стабилизирующие** – вещества с низким потенциалом ионизации.

Изменяя состав компонентов покрытия, можно было получать электроды со специальными свойствами.

Судьба дуговой сварки зависела также от решения проблемы источника питания.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

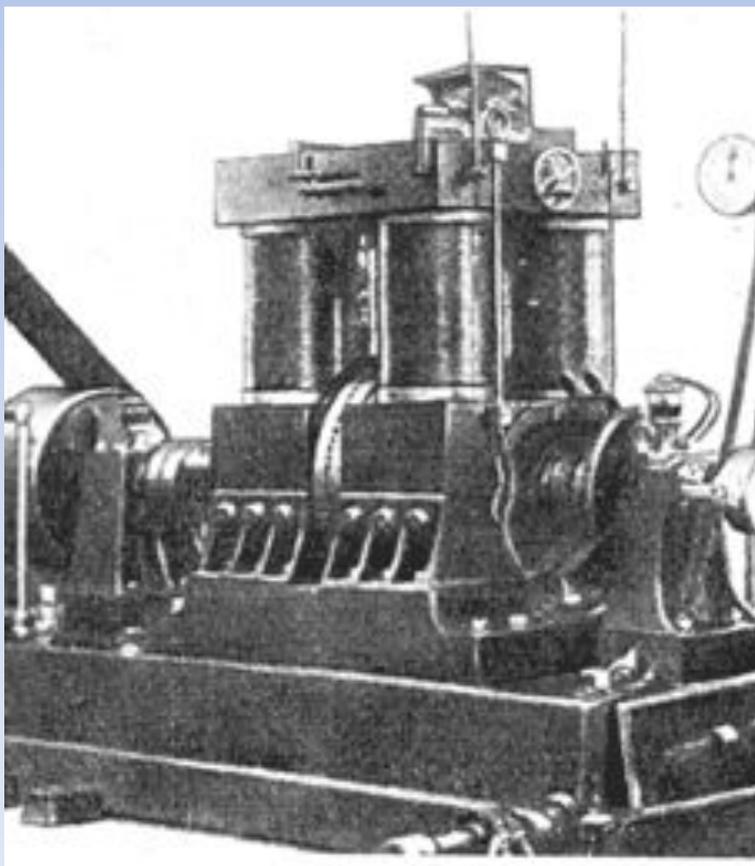
**Первый специализированный источник питания** для сварки был разработан Н.Н. Бенардосом.

Его **сварочный аккумулятор** нашел применение во многих странах мира, проработав на отдельных предприятиях до 30-х годов XX в.

Однако эксплуатация аккумуляторов представляла серьезные трудности, вызванные вредными условиями труда, необходимостью систематической зарядки, невозможностью транспортировки.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

**Сварочный генератор Н.Г. Славянова** упростил уход за источником питания. Однако для обеспечения стабильности горения дуги пришлось оставить в цепи буферную аккумуляторную батарею, сглаживающую пики токов.



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

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Развитие сварки и электротехники привело к тому, что в первом десятилетии XX в. в Германии и США начали выпускать **специальные сварочные генераторы.**

В 1907 г. первый **генератор с регулируемым напряжением** был выпущен на заводе «Линкольн электрик».

В том же году другая американская фирма «Си-Си электрик» наладила производство **мотор-генераторов.**

В 1909 г. **генератор постоянного** тока создал американский промышленник и изобретатель Дж. Вестингауз, а фирма «Дженерал электрик» стала выпускать **моторгенераторы.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

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

Однако природа переменного электрического тока вроде бы была несовместима с природой дуги, которая **мгновенно исчезает при нулевом значении тока**.

Одним из первых, кто предложил решение этой проблемы, был известный российский электротехник академик В.Ф. Миткевич.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В 1905 г. в работе «**О вольтовой дуге**» В.Ф. Миткевич обосновал возможность применения для сварки **переменного тока**, в том числе и **трехфазного**.

При питании сварочной дуги переменным током новый потенциал между электродами должен подаваться раньше, чем распадется плазма.

В связи с этим скорость нарастания напряжения источника питания должна быть больше, чем скорость деионизации дугового промежутка.

Предложенные им схемы легли в основу **сварки на переменном токе**.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В середине 20-х годов XX в. в качестве источников питания наряду со **сварочными преобразователями** стали использовать специальные **сварочные трансформаторы**, а еще через десять лет – **сварочные выпрямители**.

В нашей стране в эти же годы работы по обеспечению развития дуговой сварки были поставлены на промышленную основу.

В 1928 г. на заводе им. Г.И.Петровского (г. Днепропетровск) серийно стали выпускать **покрытые электроды для сварки**.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

К концу тридцатых годов были сформулированы **принципы регулирования тока в сварочных трансформаторах**, которые были воплощены в различных конструкциях источников питания:

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

Выпуск этого оборудования стал производиться серийно на заводе «Электрик», история которого началась в 1896 г.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Ручная дуговая сварка все шире внедрялась в производство металлических конструкций: **котлы и корабли, каркасы зданий и детали мостов, автомобили и вагоны.**

Казалось, ничто не может прервать наступление сварки.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Но, чем шире внедрялась дуговая сварка, тем чаще возникали **отрицательные эффекты**, которые настораживали производителей и эксплуатационников, вызывая с их стороны **запрет на применение нового технологического процесса**.

**Трещины в швах и околошовной зоне, напряжения и деформации целых конструкций, изменяющееся труднопредсказуемое качество при изменении сварочных материалов, ограниченность материалов, их толщин и типов соединений, которые можно сваривать** – вот неполный перечень проблем, которые требовали научных решений.

Но сварочная наука тогда еще не сформировалась, а рекомендации и выводы отдельных ученых не всегда принимались во внимание.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В большинстве исследовательских и заводских лабораторий изучали преимущественно **механические свойства сварных соединений из низкоуглеродистых сталей**, которые характеризовались удовлетворительными значениями предела прочности – 320-400 МПа.

**Пластические свойства металла шва** в сварных соединениях **были невысокими**: углы загиба при разрушении не превышали  $30-35^{\circ}$ , а ударная вязкость металла сварных швов при низких и высоких температурах – 100 кДж/м<sup>2</sup>.

По результатам ряда экспериментов было установлено **отрицательное влияние на механические свойства сварных соединений проведения сварки при отрицательных температурах.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Периодически мир наполняли слухи **о ненадежности сварных конструкций**, которые, к сожалению, базировались на реальных событиях. В 1936–40 гг. в Западной Европе рухнуло несколько сварных мостов. Катастрофы происходили неожиданно.

Чаще всего этому предшествовало **резкое понижение температуры воздуха**. Во время аварии мосты не подвергались никакой нагрузке.

В этот же период тысячи железнодорожных вагонов в СССР и других странах были сняты с эксплуатации **из-за трещин в сварных рамах и тележках**.

Стало очевидным, что **дальнейшее развитие сварки и полная победа новой технологии зависят от науки**.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В СССР и за рубежом стали создаваться сварочные научные центры, в которых начались всесторонние исследования **по влиянию различных параметров сварочного процесса на состав и свойства металла шва и околошовной зоны**, позволившие найти **способы управлять качеством сварного соединения.**

Первой по времени возникновения в нашей стране сложилась **научная школа В.П. Вологодина.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами



**Вологдин В.П.**  
(1883 – 1951 гг.)

## **Вологдин Виктор Петрович**

Родился в Пермской губернии в поселке Кувинского завода.  
1904 г. - посещение, будучи учеником реального училища,, знаменитого электросварочного цеха ("электролитной фабрики") Н.Г. Славянова на Пермских пушечных заводах.  
1910 г. - окончание Политехнического института в г. Петербурге  
С 1919 г. - работа техническим руководителем судоремонтного и судостроительного завода "Дальзавод" в г. Владивостоке.  
1920 г. - избрание профессором Дальневосточного университета (ДВГУ) в г. Владивосток  
1925 г. - создание первой в СССР научно-исследовательской сварочной лаборатории в ДВГУ  
1925 г. - назначение ректором ДВГУ  
1933 г. - назначение руководителем сварочной группы технического отдела Главморпрома  
1934 г. - избрание профессором Ленинградского кораблестроительного института  
1934 г. - построено цельносварное морское судно типа "Седов"  
С 1934 г. - руководство кафедрой сварки Ленинградского кораблестроительного института  
1946-1950 гг. - руководство постройкой цельносварных кораблей и судов на заводах г. Ленинграда, научная и педагогическая деятельность

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В лаборатории сварки Дальневосточного университета В.П. Вологдиным и его учениками были разработаны вопросы, относящиеся к технологии дуговой сварки, деформациям и напряжениям металла при сварке, среди которых можно отметить:

- **определение коэффициентов прочности сварных соединений;**
- **изучение влияния пространственного положения деталей при сварке на прочность шва;**
- **разработку системы обозначений сварных швов на чертежах;**
- **разработку методов расчета сварочных деформаций и напряжений;**
- **введение важнейших объективных показателей видов сварки плавлением – «коэффициента наплавки» и «коэффициента расплавления».**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В 1929 г. исследования сварных соединений и конструкций были развернуты под руководством **Г. А. Николаева** в Москве и **Е.О. Патона** в Киеве.

Этот год можно считать знаменательным в становлении сварочной науки в нашей стране.

В Москве организуется **автогенно-сварочный техникум**, который вскоре был преобразован в **учебный комбинат**, положивший начало **сварочным кафедрам в МВТУ им. Н.Э. Баумана**.

В Киеве при Академии наук создается **электросварочная лаборатория**. Ее организатором и руководителем был **крупный инженер и ученый в области мостостроения академик Е.О. Патон**.

В 1934 г. электросварочная лаборатория была преобразована в первый в мире научно-исследовательский институт, который занимался только вопросами сварки – **Институт электросварки АН УССР**.

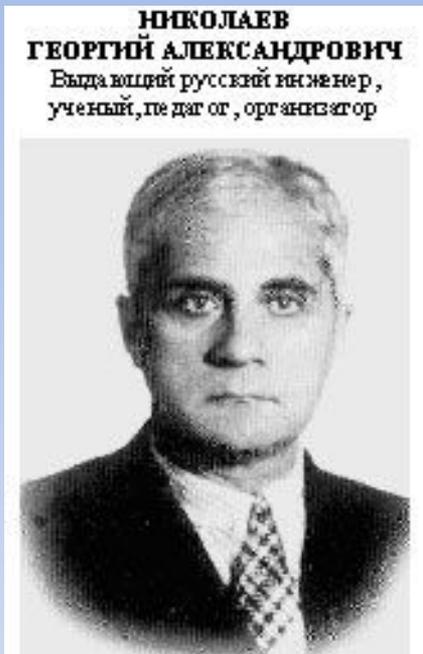
# Дуговая сварка покрытыми электродами

**Николаев Георгий Александрович** (1903-1992) советский ученый, академик АН СССР (1979). Герой Социалистического труда (1969). Лауреат Государственной премии СССР (1972).

Георгий Александрович впервые установил основные характеристики вибрационной прочности сварных конструкций и разработал технические условия на их проектирование. Его работы послужили научной основой для повсеместного внедрения в СССР сварки вместо клёпки в конструкциях промышленных сооружений, при изготовлении котлов и вагонов. Николаев Георгий Александрович автор фундаментальных исследований собственных напряжений и деформаций в сварных конструкциях, работ по регулированию остаточных напряжений при сварке, о влиянии времени на остаточные напряжения в сварных конструкциях, а также трудов по соединению и резке живых биологических тканей.

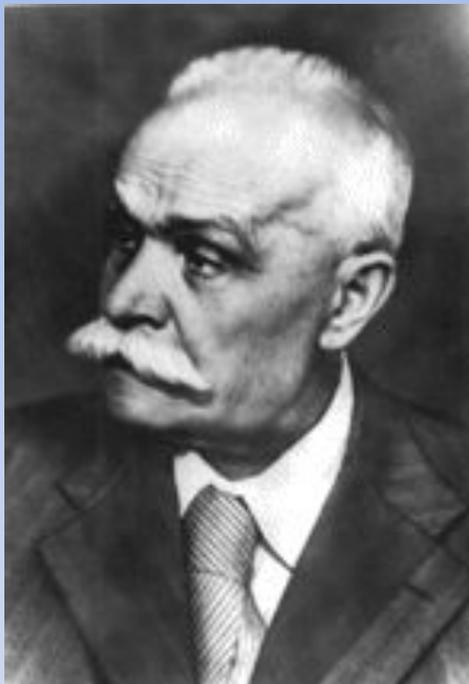
Г.А. Николаев являлся создателем и руководителем крупной научной школы сварщиков, основателем научной школы прочности и деформируемости сварных конструкций, обогатившей сварочную науку фундаментальными теоретическими и экспериментальными исследованиями. Им впервые были установлены основные характеристики прочности сварных конструкций и разработаны технические условия на их проектирование. Его глубокие исследования собственных напряжений и деформаций сварных конструкций явились основой ряда новых направлений в науке о сварке. Эти разработки и исследования послужили теоретической и практической базой широкого внедрения сварки в различные отрасли народного хозяйства. По проектам Г.А. Николаева были изготовлены первые в стране сварные железнодорожные мосты. Он участник проектирования сварных конструкций вагонов метро, электровозов, доменных печей, Останкинской телебашни, Выставочного комплекса в США, высотных зданий, некоторых скульптурных памятников и сооружений. В годы Великой отечественной войны Г.А. Николаевым разработаны и внедрены в производство вооружения технологические процессы сварки. Под непосредственным его руководством и при его участии были достигнуты выдающиеся результаты в создании принципиально новых дуговых сварочных процессов в вакууме, сварки и резки неметаллических материалов с помощью ультразвука. Г.А. Николаев - автор многих фундаментальных учебников, учебных пособий и монографий, изданных у нас в стране и за рубежом. Под его руководством на кафедре сварки были созданы три крупных научных направления:

- прочность сварных конструкций
- технология сварочных процессов
- контроль качества и диагностика сварных соединений.(сайт кафедры сварки МВТУ)



**Г.А. Николаев  
(1903-1992)**

# Дуговая сварка покрытыми электродами



**Е.О. Патон  
(1870-1953)**

**Патон Евгений Оскарович** (1870—1953) - выдающийся ученый в области мостостроения и электросварки металлов, академик АН УССР, доктор технических наук, профессор, Герой Социалистического Труда, лауреат Государственной премии.

Родился в Ницце (Франция), в семье русского консула.

В 1888 г. окончил гимназию в Бреславле (Германия), куда был переведен его отец.

В 1894 г. окончил инженерно-строительный факультет Дрезденского политехнического института, а в 1896 г. — Петербургский институт инженеров путей сообщения.

С 1897 г. ведет преподавательскую работу в вузах Москвы, с 1904 по 1929 г. заведует кафедрой мостов в Киевском политехническом институте. В этот период он начал заниматься электросваркой.

Одной из больших заслуг Е.О. Патона — создание первого в мире научно-исследовательского Института электросварки АН УССР.

В годы Великой Отечественной войны Е.О. Патон возглавил исследовательские работы, связанные с широким внедрением сварки под флюсом в производство танков, артиллерийских самоходок, авиабомб и других видов вооружения. Е.О. Патон опубликовал свыше 400 научных трудов. Он выполнил обширные исследования прочности сварных металлоконструкций и выступил инициатором широкого внедрения электросварки вместо клепки в промышленности, строительстве и на транспорте.

Е.О. Патон возглавил исследования в области комплексной механизации дуговой сварки и работы по внедрению автоматической сварки в промышленности. Он сыграл большую роль в создании научных основ сварки и сварных конструкций, в изыскании более совершенных форм металлоконструкций, в развитии существующих и разработке новых, более эффективных процессов сварки.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В 1929 г. Е.О.Патон начинает заниматься вопросами электросварки. Всю оставшуюся жизнь он посвятил разработке научных основ сварки, внедрению ее в промышленность.

Первые исследовательские работы касались вопросов **прочности сварных соединений и конструкций.**

Е.О. Патону и его сотрудникам удалось установить условия применения электросварки при изготовлении конструкций, испытывающих не только **статические**, но и **динамические нагрузки.**

Значительный интерес представляли исследования **статической и вибрационной прочности сварных конструкций.**

Одними из первых ученые института изучили **процессы плавления основного и электродного металлов, тепловой баланс при сварке открытой дугой**, а также основные **вопросы металлургии сварки и свариваемости низколегированных сталей.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В начале тридцатых годов были опубликованы работы Г.А. Николаева **о влиянии сварочных напряжений и деформаций на работоспособность ответственных сварных конструкций.**

Г.А. Николаев является одним из основателей **науки о прочности сварных конструкций.**

Его глубокие **исследования собственных напряжений и деформаций сварных конструкций** явились основой для ряда новых направлений в науке о сварке и послужили теоретической и практической базой для широкого внедрения сварки в различные отрасли хозяйства.

При его участии были созданы **первые сварные железнодорожные мосты.**

В период Великой Отечественной войны Г.А. Николаев внес большой вклад **в применение сварки при производстве вооружения.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В эти же годы начала формироваться **уральская школа сварщиков**, у истоков создания которой стоял Г.П. Михайлов.

**Григорий Петрович Михайлов** родился 1 января 1899 г. в г. Елабуге. Первоначальное образование он получил в реальном училище, а в 1924 г. окончил Московский институт инженеров путей сообщения.

В 1927-28 гг. Г.П. Михайлов руководит строительством нового мартеновского цеха Пермского пушечного завода, применяя сварку **при изготовлении металлоконструкций**. В их изготовлении электродуговая сварка тогда почти не применялась. Не было методов расчета на прочность, технологий изготовления.

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В середине 1928 г. Г.П. Михайлов был переведен на строительство Уралмашзавода, где возглавил отдел по проектированию, производству металлических конструкций и возведению металлических сооружений.

В 1930 г. были спроектированы и изготовлены **первые сварные межэтажные перекрытия**. Они представляли собой смесь элементов, которые в настоящее время считаются традиционными для подобного типа конструкций (**пояса, раскосы, косынки и т.д.**), и большого числа дополнительных крепежных элементов.

По мере изготовления и эксплуатации ферм число дополнительного крепежа уменьшалось, что оптимизировало и внешний вид, и технологию изготовления. Вскоре для строящегося завода были изготовлены **мачты для прожекторов высотой 24 м, дымовые трубы высотой до 40 м, подкрановые балки для кранов грузоподъемностью 50 т длиной пролета 10 м, смонтирован сварной газопровод протяженностью 3 км.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Исследования, выполненные **В.П. Вологдиным, Е. О. Патном, Г.А. Николаевым** и другими специалистами по применению сварки при изготовлении металлических конструкций, дали положительные результаты.

Внедрение электросварки в производство металлических конструкций происходило **на основе разработанных рекомендаций по итогам исследований.**

Впервые веское слово сказала **сварочная наука.**

# Дуговая сварка покрытыми электродами

В дальнейшем будут изучены **свойства сварочного дугового разряда, его электроэнергетические особенности и процессы превращения электрической энергии в тепловую.**

Получат объяснение **процессы распространения теплоты в металле от концентрированного дугового источника, возникновения напряжений и деформаций в сварных конструкциях.**

Станут понятными **закономерности при плавлении, взаимодействии и затвердевании фаз при сварке.**

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

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

# Дуговая сварка покрытыми электродами

Одним из первых, в результате систематических работ в Институте электросварки по изучению металлургических и электрических процессов дуговой сварки, был разработан **способ сварки под флюсом.**