



УДК 621.791.3.039

ИСТОЧНИКИ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПАЙКИ

А. М. ЖАДКЕВИЧ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Ретроспективно рассмотрено развитие оборудования и техники нагрева в процессе пайки с применением углеводородного и водородного топлива. Проанализированы технологические особенности и возможности пламени различного состава при ацетилено-кислородной, водородно-кислородной и атомно-водородной пайке. Показана роль ряда специалистов и организаций в истории газовой и газозлектрической пайки.

Ключевые слова: газокислородная, водородно-кислородная, атомно-водородная пайка, углеводородное топливо, газовые горелки, источники тепла, электрическая дуга

Важнейшими классификационными признаками пайки являются степень и температура расплавления [1], которые напрямую связаны с физико-химическими характеристиками источника нагрева. В течение нескольких тысячелетий большинство способов пайки и кузнечной сварки металлов основывалось на использовании тепла, выделяющегося при горении древесины (торфа, каменного угля). Для интенсификации процесса горения, повышения температуры и концентрации применялось искусственное дутье. При этом возможности управления режимом пайки были ограничены сравнительно низкой теплотворной способностью топлива и слабой интенсивностью поступления воздуха.

В настоящее время количество способов пайки, классифицируемых по источникам нагрева, насчитывает несколько десятков. Задачей настоящей работы является анализ генезиса пайки, ее технические возможности, особенности применения и роль источников тепла в развитии припоев и технологий пайки.

С древнейших времен горение угля, древесины и других углеводородов использовали в металлургии с тремя основными целями: получения тепла, восстановления металлов из оксидов и (реже) легирования [2]. При пайке углеводородным пламенем полностью используется только первая функция, сходная с металлургией, и реже — вторая. При этом часто возникают и специфические функции: обеспечение и поддержание температурных условий для химико-металлургических реакций между припоем и поверхностными слоями изделий; улучшение физических условий (повышение жидкотекучести, увеличение допустимого зазора и др.). Следует заметить, что эти особенности характерны не только для способов пайки с нагревом углеводородным пламенем, но и для ряда других способов пайки (с другими источниками тепла, например, основанными на реакции окисления водорода).

Начиная с VIII в. металловедение и металлообработка привлекает внимание специалистов на Ближнем Востоке.

Большой вклад в научные основы химии внес арабский ученый Джабир ибн Хайян (латинизированное имя — Гебер). В частности, в зависимости от поведения металлов на воздухе и в огне, он разделил их на «благородные» и «неблагородные». Ученые Халифата расплавляли, выпаривали, перегоняли, проводили всевозможные реакции с разнообразными веществами, в частности, открыли способ получения водорода при реакции металлов с кислотами, установили точки плавления (сравнительные) различных металлов, разработали технологию воздушно-водородной и кислородно-воздушной пайки [3]. Естественно, что важнейшей технологией производства сложных изделий из известных в то время металлов была пайка.

Широкое применение у восточных народов золота в быту и архитектуре привлекло внимание европейцев. Результатом крестовых походов западноевропейских рыцарей и монахов за богатства арабов было, кроме всего прочего, появление алхимиков [4]. Первыми алхимиками в основном были монахи, перенявшие знания у арабов. Они совершенствовали конструкции горелок, аппаратов для получения горючих газов и кислорода. Их достижения, хотя и не привели к существенному прогрессу в металлургии, технологии плавления и пайки, но обеспечили расцвет многих ремесел, связанных с металлообработкой. Мастерство литейщиков, кузнецов, лудильщиков (паяльчиков) и других металлистов перестало быть секретом отдельных средневековых цехов [5].

Накопленные к середине XVI в. научные знания и опыт изложены в 12-ти томной энциклопедии «О металлах» (*De re metallica*) выдающегося немецкого ученого врача, общественного деятеля Георга Бауэра (латинизированное имя — Агрикола) [6]. В этом труде, изданном в 1556 г., он обобщил опыт в области металлургии.

К середине XIX в. были разработаны оптимальные конструкции аппаратов для получения водорода, выделяющегося при реакции азотной кислоты с цинком, и горелки для пайки и сварки. Температура водородно-кислородного пламени достигала 2600 °С, что превышало температуру плавления не только серебра и золота, но и платины [7]. При одинаковом объемном соотношении водорода и кислорода различаются три зоны пламени: внутреннее ядро

Теплотворность и температура пламени горючей смеси с кислородом, °С

Наименование горючего и его примерный состав, об. %	Нижняя теплотворность при 20 °С и 760 мм рт. ст., ккал/м ³	Температура пламени в смеси с кислородом, °С
Ацетилен C ₂ H ₂	12600	3150
Водород H ₂	2400	2100...3100
Коксовый газ 50...60 % H ₂ , 25...30 % CH ₄ , 5...7 % Co, 6...13 % N ₂ , CO ₂	3500...4200	2000
Природный газ 96...98 CH ₄ , 0,6...1,0 % C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , 1,0...1,5 % N ₂ , CO ₂	7500...7900	2000
Нефтяной газ 12 % H ₂ , 28 % C ₂ H ₂ , C ₃ H ₈ , 50 % CH ₄ , 10 % CO, CO ₂	9800...13500	2300
Бензин	10200... 10600*	2500... 2600
Керосин	10000... 10200*	2450... 2500

Примечание. Отмеченные звездочкой данные для бензина и керосина приведены в килокалориях на килограмм.

синего цвета (1), средняя зона светло-голубого (2) и факел бледно-розового цвета (3) (рис. 1).

Прорыв к новому, более производительному и эффективному виду пайки связан с применением природных газов и способов промышленного производства ацетилена и кислорода, их сжатия, транспортировки и хранения.

В 1835 г. английский ученый Э. Деви впервые получил из карбида кальция (CaC₂) ацетилен (C₂H₂); реакцию взаимодействия карбида кальция с водой CaC₂ + 2H₂O = C₂H₂ + Ca(OH)₂ синтезировал из угля и водорода в 1860 г. французский химик П. Э. Бертело [8] (рис. 2).

В то время для освещения больших городов, общественных зданий, цехов и отдельных домов использовали газовые фонари, в которых газ подавался централизованно. Однако ацетилен не применяли из-за высокой стоимости карбида кальция, получаемого в лабораторных электропечах. Лишь в 1892 г. сотрудник американской компании «Вильсон алюминий» Т. В. Вильсон провел первую плавку карбида кальция по технологии, достаточно эффективной для промышленного использования [9]. Одновременно с ним дешевый способ выплавки карбида кальция из кокса и извести разработал французский ученый А. Муассан. Стоимость продукта снизилась в несколько тысяч раз [10]. Тем

не менее, ацетилен как технологический (а не осветительный) газ привлек внимание специалистов только после сообщения А. Шателье в 1895 г. о том, что температура сгорания ацетилена в кислороде достигает 4000 °С [11].

При экзотермической реакции C₂H₂ + 2,5O₂ = 2CO₂ + H₂O + Q количество выделяющегося тепла в 5 раз превышает количество выделяющегося при сгорании водорода, и более чем в 1,5 раза при сгорании природного газа (таблица) [12]. Широкое применение ацетилена стало возможным после установления инженером французского отделения компании «Томсон-Хьюстон» Г. Клаудом возможности растворения ацетилена в жидкостях. Ацетилен начали закачивать под давлением до 2,5 МПа в баллоны с ацетоном и транспортировать, не опасаясь взрывов [13] (рис. 3).

Таким образом, к началу XX в. были найдены принципиальные конструкторские и технологические решения по обеспечению газопламенной пайки, и она среди других способов пайки заняла ведущее место.

Использование ацетилено-кислородного пламени при пайке превалировало над другими газо- и парообразными углеводородными горючими смесями. Однако для газопламенной пайки (так же, как и для газовой сварки), кроме того, использовали коксовый, пиролизный, природный нефтяной газ, пары бензина и керосина.

Однако с точки зрения получения тепла ацетилено-кислородное пламя является наиболее эффективным из всех углеводородных источников нагрева, и пайка латунными медными, бронзовыми, стальными припоями по качеству и производи-

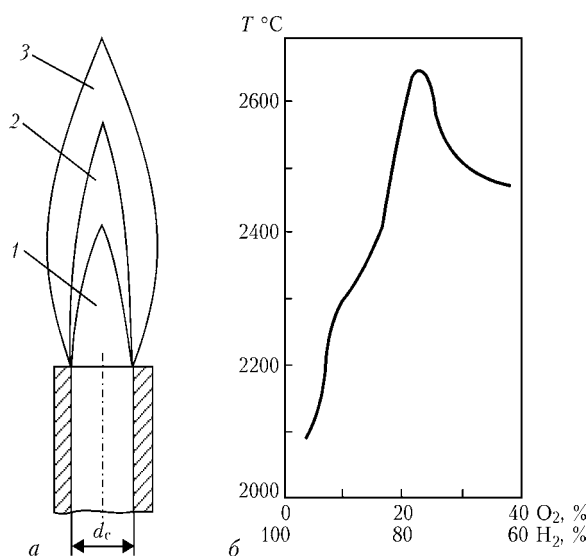


Рис. 1. Строение водородно-кислородного пламени (а) и изменение его температуры в зависимости от состава смеси (б)

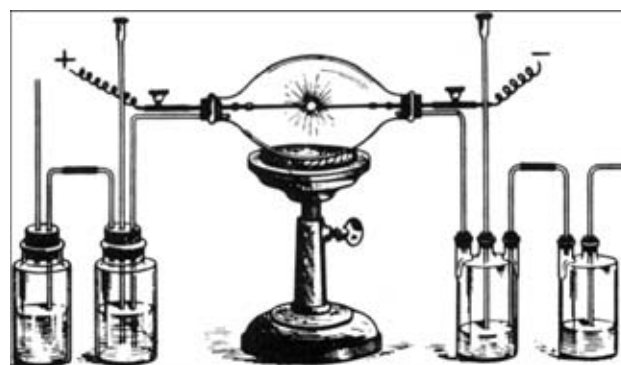


Рис. 2. Прибор Бертело для получения ацетилена (1862)

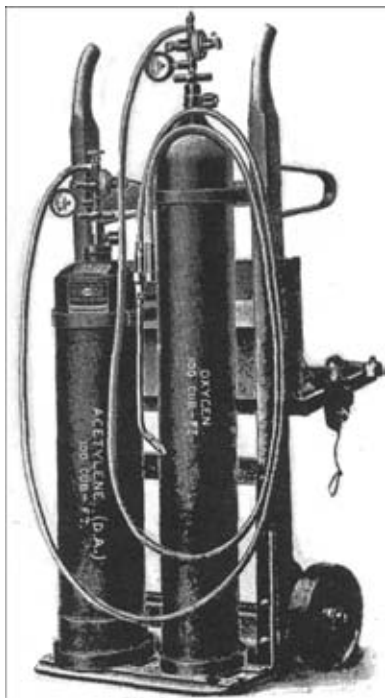


Рис. 3. Передвижное оборудование для газовой сварки и пайки (1916)

тельности конкурировала с дуговой сваркой тонкообмазанными электродами.

При использовании пламени для сварки и пайки необходимо учитывать, что процессы распада ацетилена и окисления углерода и водорода проходят несколько стадий. Опуская цепь химических превращений, описанных в работах К. К. Хренова [13], Н. Н. Клебанова [14], Д. Л. Глизманенко, Г. Б. Евсеева и других, следует отметить, что в определенных участках пламени имеются H , H_2 , C , CO . Пламя (рис. 4) имеет три зоны (I–III) с различной температурой, в наружной оболочке ядра происходит распад ацетилена ($C_2H_2 = 2C + H_2$) и реальная температура в оболочке ядра не превышает $1500^\circ C$. Для пайки чаще всего «используется» зона пламени, находящаяся сразу за ядром, где в результате реакции ($C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2$) образуется водород, обладающий восстановительными свойствами по отношению к оксидам многих металлов. К тому же именно в этой зоне наиболее высокая температура пламени.

Сведения о времени появления способов пайки без непосредственного контакта с открытым пламенем отсутствуют. Тем не менее, можно предположить, что пайка и лужение с использованием тепла разогретых газов (в печи), а также тепла, передающегося через подставку или паяльник, возникли намного раньше способов газопламенной пайки.

Эффективность газопламенной пайки в значительной степени зависит от конструкции горелок. Долгое время использовали наддув мехами (наподобие кузнечных) или с помощью насосов и механических воздуходувок. Распространение газового освещения и особенно начавшаяся в конце XIX в. борьба «газоосветительных» компаний с «электроосветительными» стимулировала совершенствование аппаратуры [15]. Смесь горючего

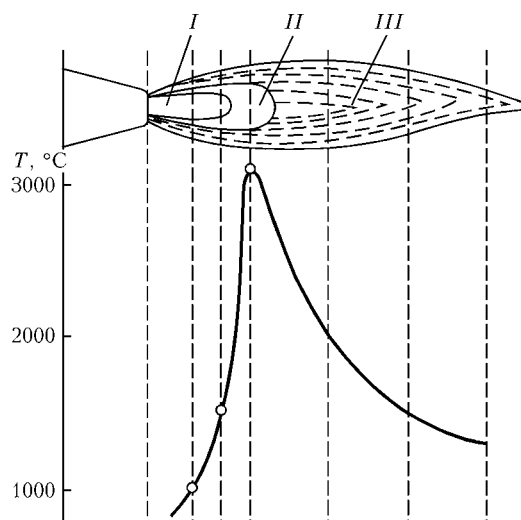


Рис. 4. Структура ацетилено-кислородного пламени и распределение температуры по его длине

газа и воздуха (а затем кислорода) не должна была взрываться ни внутри, ни на выходе из горелки и должна была обеспечивать высокую концентрацию теплоты [16]. Уже в первой половине XIX в. были созданы устройства, предотвращающие обратный удар потока горящего газа внутрь канала, сначала для водородно-кислородного пламени, а затем и углеводородно-кислородного. Сложнее оказалось выполнить второе условие — найти конструкцию горелки, в которой углеводороды сгорали бы полностью. Долгое время плотный нагар углерода оседал на стенках канала и засорял сопло.

Ч. Пикар из компании «Френч ацетилен диссолвед» нашел комплексное решение — горючий газ и кислород смешивали внутри горелки, а ацетилен подавали из баллонов под избыточным давлением [16]. Из генераторов же газ выходил под нормальным давлением, поэтому другой сотрудник этой же компании (Э. Фуше) в 1909 г. разработал горелку, в которую под давлением подавали кислород, а ацетилен всасывался благодаря инъекции [17]. Эти два принципа стали основой для совершенствования газовых горелок в последующие годы [18]. Одновременно интенсивно были усовершенствованы и ацетиленовые генераторы — к концу XIX в. европейские страны и США выпускали десятки тысяч генераторов трех типов («карбид в воду»; «вода на карбид» и смешанный тип), значительную часть которых использовали не только для сварки, но и для пайки (рис. 5, 6).

Применение газопламенной обработки в машиностроении в России и в Западной Европе началось одновременно. В 1906 г. газовую сварку и пайку демонстрировали в Московском техническом училище. К 1911 г. газосварочные посты (где также и паяли) имелись в железнодорожных мастерских, заводах Петербурга, Москвы, Екатеринослава, Урала и в других регионах. В это же время акционерное общество «Перун» открыло заводы по выпуску оборудования в Петербурге, Варшаве и Екатеринославе [19, 20]. Интенсивное развитие российской промышленности в предвоенные и в годы первой мировой войны потребовало подго-

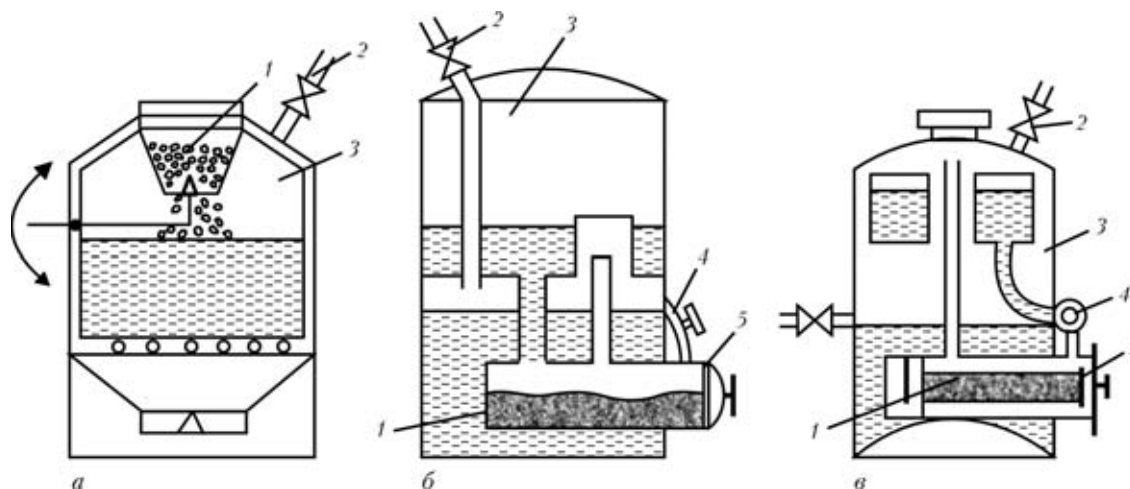


Рис. 5. Схемы ацетиленовых генераторов: *а* — с подачей в воду карбида кальция; *б* — с подачей порций воды в реторту с карбидом; *в* — с периодическим взаимодействием карбида с водой (смешанный тип); 1 — карбид кальция; 2 — отбор газа; 3 — газосборник; 4 — подача воды; 5 — реторта

товки специалистов. В Петроградском технологическом институте была организована школа «свинцово-паяльного дела и автогенной сварки». Профессор В. Я. Курбатов в 1918 г. написал монографию, ставшую пособием для специалистов [20]. На заводах российско-американского акционерного общества «Рагаз» (в г. Ростове и других городах) за период 1927–1930 гг. было выпущено 2074 шт. ацетиленовых генераторов, 5782 шт. сварочных горелок, 4632 шт. редукторов. Более интенсивное развитие автогенной промышленности началось в 1930-х годах после ликвидации смешанных иностранно-советских предприятий.

Быстрыми темпами развивалась кислородная промышленность, строились печи по выплавке карбида и цехи по производству газосварочного оборудования, было налажено производство пропан-бутана из нефти и метана, из природного газа. За десять лет индустриализации (к 1938 г.) СССР по производству кислорода вышел на первое место в Европе и второе, после США, в мире. В 1934 г., когда прекратился ввоз импортного оборудования, специалисты выбирали источники нагрева, исходя из оптимальных условий пайки. Наряду с ацетилено-кислородной пайкой в целях экономии средств применяли пары жидких горючих [21].

При выборе горючих газов учитывалась их теплотворная способность и температура пламени (см. таблицу) [12]. В соответствии с этими характеристиками пайку легкоплавкими (мягкими) припоями рекомендовали выполнять с применением природного газа, паров бензина и керосина [21]. Объем использования автогенной обработки к концу 1930-х годов составил 53 % общего объема сварочных работ.

Широкое применение пайка нашла в годы Великой Отечественной войны. В 1944 г. в СССР было создано специализированное исследовательское учреждение по развитию технологий, основанных на применении газового пламени — ВНИИАвтогенмаш, и уже в начале 1950-х годов газопламенная пайка цветных и черных металлов стала одним из направлений деятельности института. Одна из первых работ была посвящена изу-

чению причин пористости при капиллярной пайке латуней серебряными припоями, созданию научных основ для выбора флюса и припоя при газопламенной сварке (пайке) чугуна [22]. Длительное время исследованиями руководил директор института А. Н. Шашков, а затем Г. А. Асиновская, К. В. Васильев, И. И. Ильина, Н. И. Никифров [23]. В институте были разработаны технологии газопламенной пайки латуни, не требующие очистки соединений от остатков флюса и шлаков, выполнен ряд работ по технике пайки [24].

Однако одним из главных направлений в деятельности ВНИИАвтогенмаша стало создание нового оборудования, соответствующего прогрессивным газопламенным технологиям. Так, уже к концу 1940-х годов были разработаны конструкции многопламенных горелок, применяемых при пайке труб или цилиндрических деталей диаметром 30...170 мм при рабочем давлении ацетилена до 1,5 кгс/см² и кислорода — 6,0 кгс/см², с мак-

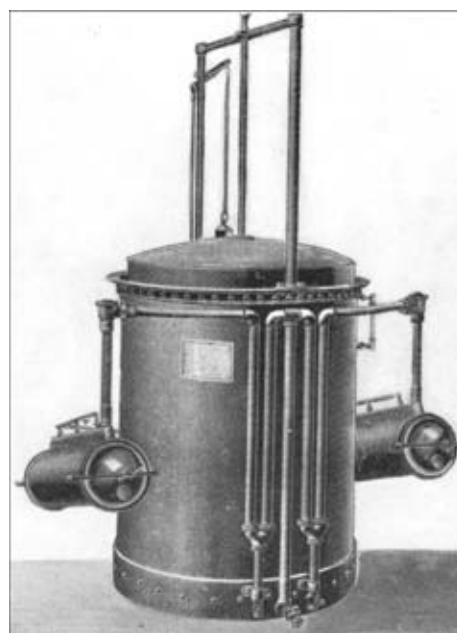


Рис. 6. Ацетиленовый генератор конструкции Кея (1897) — один из первых автоматических аппаратов смешанного типа

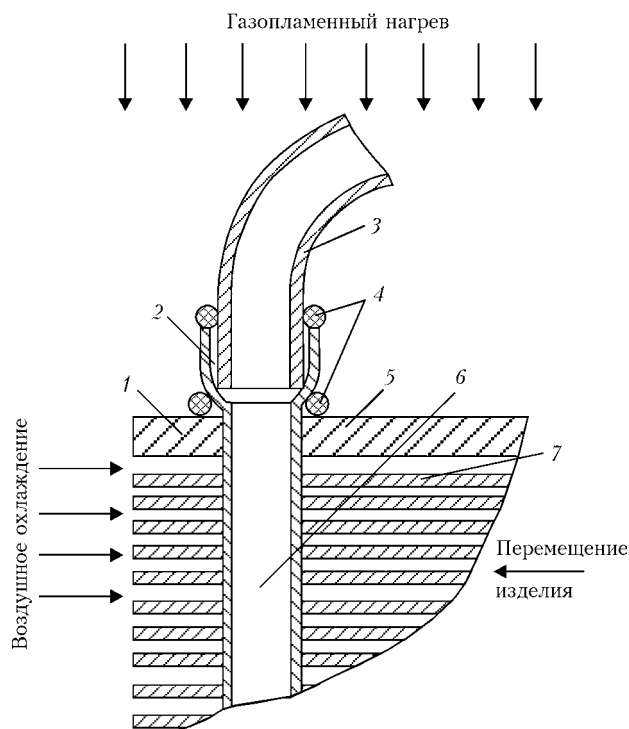


Рис. 7. Схема паяемого узла теплообменника: 1, 2 — точки расположения термомпар; 3 — калач; 4 — припой; 5 — трубная доска; 6 — оребренная трубка; 7 — пластины оребрения

симальным количеством мундштуков — 44 [25]. Для пайки изделий прямоугольного сечения конструировали многопламенную горелку, верхний и нижний наконечники которой (с общим числом сопел до 74) были шарнирно связаны с распределительной камерой.

К своим перспективным разработкам ВНИИАвтогенмаш относит оборудование и технологию газофлюсовой пайки, при которой пары борсодержащей жидкости вводятся непосредственно в пламя. При этом высокая герметичность соединений ряда сплавов обеспечивается без очистки мест соединения [23].

Для расширения выпуска оборудования для газопламенной обработки были построены заводы автогенного машиностроения в 1952 г. в Одессе («Автогенмаш») и в 1958 г. в Кировокане («Кировоканавтогенмаш», ныне — «Ванадзоравтогенмаш»). В 1950–1970-х годах годовой прирост этого оборудования в СССР в среднем составил 13,1 % [19]. В эти и последующие годы, кроме ВНИИАвтогенмаша и МВТУ им. Н. Э. Баумана, заметный вклад в совершенствование газопламенной техники внесли коллективы филиала ВНИИАвтогенмаша в Воронеже, Гипрокислорода, завода «Красный автоген» № 1 (Москва), Воронежского экспериментального завода и др.

В последней четверти XX в. усилия специалистов в области газопламенной пайки были направлены на механизацию процесса пайки особо сложных по конструкции серийно выпускаемых изделий. Так, например, в Институте газа АН УССР была разработана оригинальная схема подачи пламени с одновременным воздушным охлаждением [26] (рис. 7). Трубы и калачи теплообменников изготовляли из меди или мельхиора,

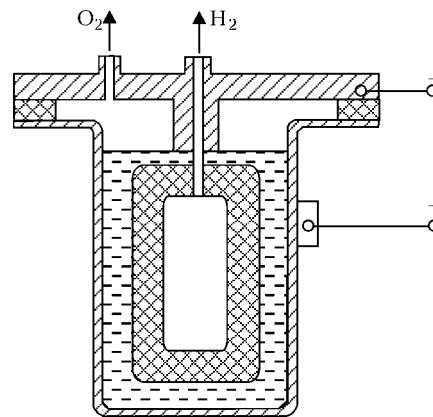


Рис. 8. Схема раздельного получения водорода и кислорода в электролизере

а трубные доски — из коррозионностойкой стали или латуни, припой при сборке укладывали в виде колец. Применение печной пайки исключалось из-за наличия на пластинах покрытия (лужения) из легкоплавкого сплава. Поэтому осуществляли одновременный нагрев всей поверхности трубной доски группой факелов, причем установка обеспечивала встречное движение теплообменника и продуктов сгорания, а луженые пластины дополнительно охлаждали воздухом.

Рассматривая способы применения для паяния углеводородного топлива, следует сказать об одном из самых древних простейших паяльников — медном заостренном бруске, закрепленном на держателе. Таким инструментом, разогретым теплом открытого пламени, паяли (сваривали) свинцовые трубы знаменитого римского трубопровода, свинцовые пластины крыш дворцов и обшивки кораблей. Медный паяльник в виде бруска или стержня до сих пор широко применяется лудильщиками в мастерских, где паяют легкоплавкими припоями. Такой способ пайки можно отнести к пайке нагретыми блоками, поскольку «нагрев паяемых материалов и припоя осуществляется контактирующими с ними нагретыми телами» [1].

В XX в. техника применения водорода для пайки (как и для сварки) развивалась по двум направлениям: первое основывалось на электролизе воды, второе — на диссоциации атомарного водорода.

К предложению известного российского физика Д. А. Лачинова использовать тепло реакции между двумя газами — водородом и кислородом, полученными в электролизерах [27], возвращались несколько раз (рис. 8). Так, в 1930-х годах в разных странах предпринимались попытки, наряду с газовой и атомно-водородной сваркой, использовать и электролизную сварку [28]. В СССР был налажен выпуск монополярных генераторов производительностью 1,3 м³/ч гремучего газа при оптимальном токе 200 А. Генераторы как приставки к электросварочному оборудованию применяли на машинно-тракторных станциях [29].

К совершенствованию электролизно-водных генераторов и техники сварки и пайки водородно-кислородным пламенем вернулись в конце 1960-х годов. Внимание привлекло то, что объем газовой



Рис. 9. Электролизно-водный генератор фирмы «Kager» (Water-Welder)

смеси, образующейся при электролизе воды, в 1868 раз превышал объем исходной воды; отпадала необходимость в хранении и транспортировке взрывоопасных газов, поскольку расход газовой смеси при непосредственном ее использовании мог соответствовать производимому объему. Зарубежный опыт показал, что генераторы могут вырабатывать в час несколько сотен литров газовой смеси; можно осуществлять сварку, пайку и резку проводов, фольги, керамики, стекла... Высокотемпературное экологически чистое пламя пригодно для высоко- и низкотемпературной пайки [30].

В ФРГ в конце 1960-х г. был разработан водородно-кислородный генератор производительностью до 170 л/ч [29–31] (модель Water-Welder, рис. 9), который нашел применение для процессов пайки и микросварки изделий электротехнической и электронной промышленности. В 1971 г. специалисты ВНИИТЭМ (Москва) создали упрощенный аппарат (СМО-3275), который нашел применение в ювелирной и электронной промышленности.

Существующие в СССР промышленные электролизеры для отдельного получения из воды водорода и кислорода не могли быть использованы для проведения технологических работ в связи с рядом проблем технологического и организационного характера. К основным из них относились: стационарность исполнения электролизеров, необходимость отдельного особо оборудованного помещения для их монтажа, громоздкость (масса электролизеров более 1 т), слишком высокая производительность для питания одного сварочного поста (10 м³/ч и более), высокие требования к обеспечению взрывобезопасности. Вместе с тем, для газопламенных методов обработки материалов включалось и использование баллонов с водородом в связи с высокой степенью взрывоопасности его смесей с кислородом.

В ИЭС им. Е. О. Патона в 1973 г. по предложению академика В. К. Лебедева были начаты работы по созданию отечественных малогабаритных газогенераторов горючей смеси для процессов пайки и сварки микроизделий, для получения водородно-кислородной смеси путем электролиза воды [32]. Разрабатывалось два варианта — фильтрпрессовый электролизер с отдельным полу-

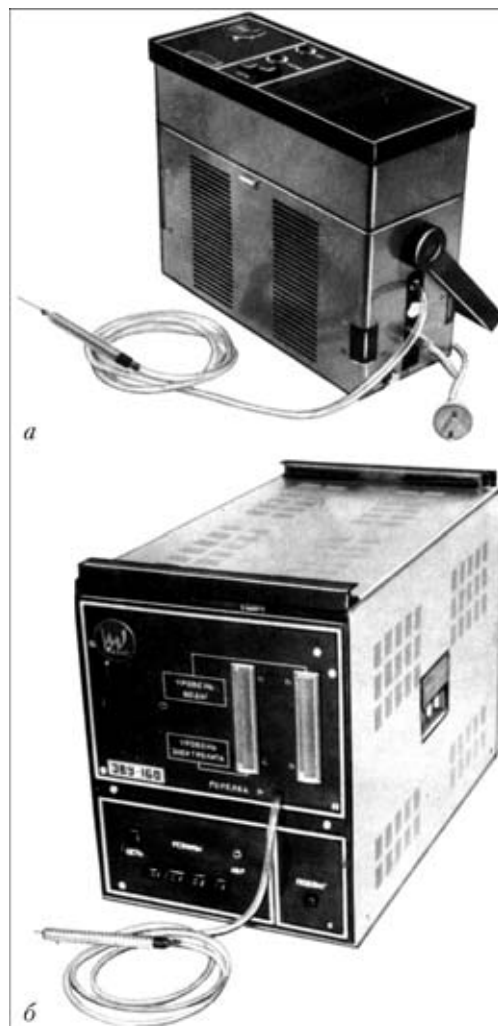


Рис. 10. Газогенераторы водородно-кислородной смеси с электролизером биполярного типа: а — ЭВУ-40; б — ЭВУ-160

чением водорода и кислорода и электролизер монополярного типа для получения смеси водорода с кислородом (гремучего газа).

При разработке В. И. Балакиным электролизеров биполярного типа обнаружилась невозможность копирования в электролизере производительностью до 0,1 м³/ч технических решений, использованных в конструкциях электролизеров производительностью 10 м³/ч и более. Таким образом, «модернизация» известных конструкций электролизеров заключалась в поисках оптимальной формы электродов, обеспечивающей достаточную степень герметизации электролитических ячеек, а также варианта равномерного распределения электролита между ячейками и в решении других менее важных проблем.

В результате работ, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона В. М. Кислицыным, А. Г. Мусиным, И. М. Мельниченко, В. П. Шевченко и другими, были созданы и выпущены несколько моделей газогенераторов биполярного типа [32] (рис. 10).

В настоящее время разработки в этом направлении проводятся на предприятиях Москвы, выпускающих газогенераторы марок «Москва» (ОАО НПП «Газосварочные аппараты-XXI век»), «ЛИГА» (г. Санкт-Петербург) и др.



Рис. 11. Газогенераторы водородно-кислородной смеси с монополярным электролизером: *a* — фирмы «Нудрох», производительностью $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$; *б* — ИЭС им. Е. О. Патона (А-1803), производительностью $1,6 \text{ м}^3/\text{ч}$

В то же время в ИЭС им. Е. О. Патона было разработано несколько моделей газогенераторов водородно-кислородной смеси с монополярным электролизером, а также технологии сварки и пайки изделий из различных металлов и сплавов [33–37]. Отличительной особенностью предложенной конструкции электролизера является использование электродов в виде двух лент, свернутых по спирали вокруг центрального токоподвода, причем на одну из лент навивали с шагом $5 \dots 10 \text{ мм}$ изоляционную нить диаметром около 1 мм , обеспечивающую требуемый зазор между электродами [38].

На базе газогенератора ГВК-1,5 был разработан газогенератор водородно-кислородной смеси производительностью до $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, который затем серийно изготавливали на Броварском опытном заводе оборудования «Факел» с 1980 по 1990 гг.

Газогенераторы различных серий были внедрены на ПО им. Артема (г. Киев) в технологической линии по изготовлению изделий радиотехнического профиля, на нескольких предприятиях фармацевтической промышленности в линиях по герметизации стеклянных ампул с медпрепаратами, а также на других предприятиях во многих научно-исследовательских институтах на операции пайки микроизделий.

За рубежом в 1990-е годы также уделялось внимание разработкам этого направления. Например, лидировавшая в те годы фирма «Нудрох» (США), освоила выпуск нескольких моделей газогенераторов водородно-кислородной смеси производительностью от $0,3$ до $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ с электролизером монополярного типа. Разработки ИЭС им. Е. О. Патона не уступали по массогабаритным характеристикам разработкам фирмы «Нудрох» (рис. 11), но превосходили по технологическим характеристикам и надежности. Следует отметить, что ни в Европе, ни в Америке ни одна из фирм не занималась разработкой газогенераторов водородно-кислородной смеси с электролизером биполярного типа.

Технологические процессы пайки с нагревом водородно-кислородной смесью разрабатывали на нескольких московских предприятиях [39, 40], причем были получены обнадеживающие результаты по газопламенной пайке водородно-кислородным пламенем алюминиевых сплавов с использованием припоев системы Al–Zn без флюсов.

Следует отметить, что экспериментальными исследованиями особенностей работы газогенераторов, теоретическими обоснованиями и рекомендациями по выбору оптимальных вариантов источников для газотермической обработки металлов, в том числе и пайкой, занимались В. Н. Корж и др. (КПИ), В. М. Неровный и др. (МГТУ им. Н. Э. Баумана), В. И. Столбов и др. (Тольяттинский политехнический институт) [42], В. Ф. Квасницкий и др. (Украинский государственный морской технический университет им. С. О. Макарова) [43].

В связи с тем, что для увеличения размеров восстановительной зоны пламени к водородно-кислородной смеси необходимо примешивать углеродные добавки (пары спирта, ацетона, бензина), которые снижают температуру пламени (см. таблицу).

Что касается горелок, то в принципе они представляют собой обыкновенную трубку, в которую подается уже готовая смесь. Диаметр трубки выбирается в зависимости от мощности пламени (для сварки и резки используются также ацетилено-кислородные горелки). Применение газов, получаемых в электролизно-водных генераторах с целью пайки, не представляет особых проблем, а техника пайки не отличается от техники пайки другим газовым пламенем [35]. Интересным технологическим решением является предложение проводить нагрев двумя коаксиальными газовыми потоками. В соответствии с этим техническим предложением через центральное сопло подают водородно-кислородную смесь стехиометрического состава (обеспечивающую температуру пламени порядка $3400 \text{ }^\circ\text{C}$), а через канал, охватывающий цен-

тральное сопло, — защитный газ, например, ту же водородно-кислородную смесь, но обогащенную парами углеводородной жидкости, обеспечивающую восстановительную атмосферу вокруг центральной зоны нагрева. Известны устройства [42], позволяющие дозировать вводимую в зону пайки (сварки) тепловую энергию, что обеспечивает высокую воспроизводимость качества паяных или сварных соединений [45].

Весьма перспективна разработка аппаратуры для отдельного получения из воды водорода и кислорода для технологического использования в процессах сварки и пайки.

Другое направление применения водорода в качестве энергоносителя к виду газопламенной пайки можно отнести только условно. Способ атомно-водородной сварки (и пайки) основан на явлении диссоциации водорода в электрической дуге, открытым в 1911 г. выдающимся американским ученым И. Ленгмюром. Сварка и пайка производится горелкой с двумя неплавящимися электродами (вольфрамовыми), между которыми горит дуга. В зону дуги подается водород, где двухатомные молекулы этого газа диссоциируют [46]. Атомы (ионы) водорода, попадая на сравнительно холодный металл, рекомбинируют с выделением энергии $H + H = H_2 + 436$ кДж/моль. Изделие и присадка (припой) нагреваются как теплом дуги (конвекцией и излучением), так и экзотермическим теплом.

В 1930-х годах атомно-водородная сварка и пайка широко применялись в авиационной, электротехнической и других отраслях промышленности, обеспечивая наиболее качественные соединения (по сравнению с известными тогда способами) алюминия, меди, бронзы. Развитием этих технологий занимались в Московском машиностроительном институте (ныне — МГТУ им. Н. Э. Баумана), в Ленинградском индустриальном институте, в лабораториях системы Авиапрома и др. Наибольшее распространение технология получила в США (более 3 тыс. постов). В 1940-х годах технологии, основанные на «водородной дуге», были вытеснены другими, более эффективными технологиями, и в настоящее время применяется в исключительных случаях, например, при сварке тройников из толстостенных трубок диаметром до 20 мм в авиационной, обеспечивая «кинжальный» прогрев на всю толщину трубки, что недостижимо при реализации дуговых способов сварки в очень узкую разделку шва.

Выводы

1. Газовоздушная и газокислородная пайка возникли в период средневековья. Высокопроизводительные способы получения карбида кальция, первые промышленные конструкции ацетиленовых генераторов и газовых горелок были разработаны и усовершенствованы изобретателями и учеными многих стран Европы и США во второй половине XIX — начале XX вв.

2. В 1920–1930-х годах для пайки изделий авиационной и электротехнической промышленности

применяли установки, выпускавшиеся для атомно-водородной сварки.

3. В первой половине XX в. были проведены исследования газового пламени; в СССР организовано производство оборудования и материалов для газовой пайки, созданы специализированный институт (ВНИИАвтогенмаш) и ряд лабораторий. Во второй половине XX в. основной задачей являлось совершенствование оборудования, автоматизация процессов пайки.

4. В XX в. получила развитие техника пайки водородно-кислородным пламенем. Разработаны конструкции электролизно-водных генераторов, надежных и эффективных в промышленном применении.

- ГОСТ 17325-79. Пайка и лужение. Основные термины и определения. — М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1979. — 19 с.
- Репен Т. Роль углерода в древней металлургии // Черн. металлы. — 1998. — № 2. — С. 68–71.
- Фигуровский Н. А. Очерки общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М.: Наука, 1969. — 455 с.
- Джуа М. История химии / Пер. с итал. — М.: Мир, 1975. — 560 с.
- Stillman J. M. The study of alchemy and early chemistry. — New York, 1960. — 575 p.
- Agricola G. Zwölf Buecher vom Berg- und Huettenwesen // VDI-Verlag Duesseldorf, 1978. — 385 S.
- Fletcher T. A. New commercial application of oxygen // J. Soc. Chem. Ind. — 1888. — № 3. — P. 182–185.
- Мусабеков Ю. С., Черняк А. Я. Выдающиеся химики мира: Библиограф. указатель. — М.: Знание, 1971. — 270 с.
- Smith K. S. A history of the oxyfuel and electric arc welding processes // Practical Welding Today. — 1998. — March-April. — P. 19–22.
- Lebrun M. Fifty years of welding in France // British Welding J. — 1954. — № 7. — P. 25–28.
- Chatelier H. Sur la combustion de l'acetylene // Comptes rendus de l'Academie des sciences. — 1895. — № 27. — S. 1144–1147.
- Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. Теория сварочных процессов. — Харьков: Изд-во Харьков. ун-та, 1968. — 503 с.
- Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. — М.: Машиностроение, 1970. — 408 с.
- Клебанов Н. Н. Газовая сварка и резка металлов. — М.: Машгиз, 1947. — 328 с.
- Корниенко А. Н. Термохимические процессы на службе сварки // Автомат. сварка. — 1996. — № 7. — С. 42–50.
- Lebrun M. La soudure, le brasage et l'oxycoupage des metaux. 3500 ans d'histoire. — Paris: Academie de Marine, 1961. — 27 S.
- Weirs S. A., Orn T. An early history of oxyacetylene welding and cutting in the United States // Welding Eng. — 1935. — № 6. — P. 22–24.
- Грандон, Дегранж, Роземберг. Выбор и оборудование кислородно-ацетиленовой установки. — Л.: Наука и школа, 1927. — 95 с.
- Антонов И. А. Газопламенная обработка металлов. — М.: Машиностроение, 1976. — 264 с.
- Курбатов В. Я. Самосварка и различные способы спайки металлов. — Пг.: Науч.-техн. отдел ВСНХ, 1918. — 204 с.
- Милославский С., Глизменко Д. Горючие газы для автогенной обработки металлов // Автоген. дело. — 1933. — № 7. — С. 18–24.
- Шашков А. Н., Асиновская Г. А., Ильина И. И. Низкотемпературная пайко-сварка чугуна белым припоем // Тр. ВНИИАвтогенмаш. — 1970. — Вып. 16. — С. 153–167.
- Никифоров Н. И., Васильев К. В., Смирнов А. Х. Работы ФГУП «ВНИИАвтогенмаш» в области аппаратуры и технологии газопламенной пайки // Сб. 1. «Пайка, современные технологии, материалы, конструкции». — М.: Центральный Российский Дом знаний. — 2001. — С. 67–69.
- Асиновская Г. А. Газопламенная пайка металлов. — М.: Машгиз, 1963. — 83 с.



25. *Кольцевые* многопламенные горелки КГ для газопрессовой сварки поперечных стыков труб и круглой стали // Информ. листок ВНИИАВТОГЕНМАШа. — 1953. — Октябрь. — № 41. — 5 с.
26. *Механизированная* пайка теплообменников твердыми припоями с использованием природного газа, сжигаемого в смеси с воздухом / А. Е. Еринов, В. А. Сорока, С. А. Петинкин и др. // Автомат. сварка. — 1982. — № 12. — С. 49–51.
27. *Якименко Л. М., Модылевская И. Д., Ткачек З. А.* Электролиз воды. — М.: Химия, 1970. — 264 с.
28. *Попов С. М.* Применение электролизной сварки в условиях ремонта самолетов // Авиапром-сть. — 1938. — № 4. — С. 18–24.
29. *Лашко Н. Ф., Лашко-Авакян С. В.* Пайка металлов. — М.: Машгиз, 1959. — 442 с.
30. *Wasser-Schweisser* // Produktion. — 1972. — № 8. — S. 104.
31. *Mikroschweißgeraet* «Water-Welder» // Technische Rund. — 1968. — № 7. — S. 49.
32. *Протоколы* технических совещаний. — Архив ИЭС им. Е. О. Патона, оп. 1, д. 2440, л. 21.
33. *Балакин В. И.* Применение электролизно-водных генераторов при пайке, резке и сварке // Автомат. сварка. — 1986. — № 8. — С. 57–61.
34. *Кислицын В. М., Мусин А. Г.* Малогабаритные переносные установки для пайки и сварки кислородно-водородным пламенем // Сварка и пайка элементов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. — Киев: Знание, 1974. — С. 10–11.
35. *Установка* для импульсной газопламенной пайки микродеталей / А. А. Россошинский, В. М. Кислицын, А. Г. Мусин и др. — Киев, 1976. — [4] с. — (Информ. письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; № 295).
36. *Установка У-853* для микропламенной пайки / А. А. Россошинский, В. М. Кислицын, А. Г. Мусин и др. — Киев, 1975. — [4] с. — (Информ. письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; № 15).
37. *Генераторы* водородно-кислородной смеси ГВК-1,5 и ГВК-0,2 / В. М. Кислицын, А. Г. Мусин, В. П. Шевченко. — Киев, 1981. — [4] с. — (Информ. письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; № 2).
38. *А. с. СССР 507668.* Электролизер для получения гремучего газа из воды и водных растворов / В. К. Лебедев, А. А. Россошинский, В. М. Кислицын и др. — Оpubл. Б. И. — 1976. — № 11.
39. *Латыпов Р. А., Хромов В. Н., Семешин А. Л.* Восстановление систем охлаждения двигателей автотракторной техники газопламенной пайкой // Сб. 2. «Пайка, современные технологии, материалы, конструкции». — М.: Центральный Российский Дом знаний. — 2001. — С. 25–29.
40. *Хромов В. Н., Семешин А. Л., Латыпов Р. А.* Восстановление радиаторов систем охлаждения газопламенной пайкой // Свароч. пр-во. — 2000. — № 9. — С. 44–49.
41. *Корж В. Н., Дыхно С. Л.* Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. — Киев: Техніка, 1984. — 64 с.
42. *Фролов В. П., Маркова И. Ю., Левзнер Н. Б.* Пайка и паяльники за последние 30 лет // Материалы научн.-техн. конф. «Пайка-2000», Тольятти, Тольяттинский политехн. ин-т, 2000. — С. 3–7.
43. *Кафедре* сварочного производства УГМТУ — 40 лет / Г. Ф. Романовский, В. Ф. Квасницкий, А. И. Сафонов, Е. А. Коршенко // 36. науч. праць УДМТУ. — Миколаїв, УДМТУ. — 1999. — № 6. — 151 с.
44. *А. с. СССР 1449268 МКИ В 23 к 7/08.* Способ газопламенной обработки / В. Т. Жоголь, В. Ф. Резниченко, В. П. Мельников и др. — Оpubл. Б. И. — 1986. — № 12.
45. *А. с. СССР 721289 МКИ В 23 к.* Устройство для газопламенной микросварки и пайки / С. Л. Дыхно, В. М. Кислицын, А. Г. Мусин и др. — Оpubл. Б. И. — 1980. — № 10.
46. *Weinman A., Langmuir J.* Atomic hydrogen welding // General Electric Rev. — 1926. — № 29. — P. 160–163.

Retrospective description of development of the equipment and technique of heating during brazing with application of hydrocarbon and hydrogen fuel is given. Analyzed are the technological features and capabilities of flame of different composition in acetylene-oxygen, hydrogen-oxygen and atomic-hydrogen brazing. The role of several specialists and organizations in the history of gas and gas-electric welding is demonstrated.

Поступила в редакцию 07.09.2004

Научно-производственный центр «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

Сплавы на основе титана благодаря высокой удельной прочности и другим уникальным свойствам нашли широкое применение в аэрокосмической технике, самолетостроении, судостроении, химическом машиностроении, энергетике и других областях промышленности. Основным сырьем для изготовления титановых сплавов является губчатый титан, который производится на Запорожском титано-магниевом комбинате из ильменитовых руд. Украина занимает третье место в мире по запасам этих руд, причем самого высокого качества.

Для разработок сплавов на основе титана, оборудования и технологий их получения из губчатого титана в 1996 г. в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины был создан Научно-производственный центр «Титан». Производство слитков осуществляется методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) на отечественном оборудовании производительностью 3000 т в год. При этом впервые в мире:

- ✓ способ ЭЛПЕ использован для получения высоколегированных сплавов титана;
- ✓ создана и внедрена в производство технология выплавки слитков из недробленных блоков губчатого титана;
- ✓ освоена выплавка полых слитков для производства крупногабаритных титановых труб;
- ✓ созданы оборудование и технология оплавления боковой поверхности слитков, успешно применяемые вместо их механической обработки.

В настоящее время Научно-производственным центром «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона установлены кооперационные связи со специализированными предприятиями Украины, что позволяет производить различный сортамент полуфабрикатов из титана (поковки, прутки, трубы) как для нужд промышленности Украины, так и на экспорт.

НПЦ «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины
03028, ул. Ракетная, 26, Киев, Украина
Тел.: (38044) 264-9543; факс: 264-1096; e-mail: info@titan-paton.kiev.ua