

## НАЧАЛО ЭРЫ КОСМИЧЕСКИХ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Академик Б.Е. Патон

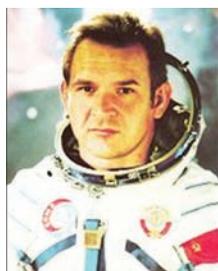
16 октября 1969 г. летчиками-космонавтами СССР Георгием Шониным и Валерием Кубасовым впервые в мире на космическом корабле «Союз-6» с помощью универсальной автоматизированной установки «Вулкан» были проведены эксперименты по сварке и резке в открытом космосе.

Создатель практической космонавтики Сергей Павлович Королев еще в начале 1960-х гг. поставил перед Институтом электросварки им. Е.О. Патона задачу — разработать программу экспериментов для осуществления сварки и резки в космосе. Эта программа научных исследований, конечной целью которой было создание сварочной аппаратуры и технологий для соединения материалов в космосе с помощью сварки, начала осуществляться в 1964 г., а в октябре 1969 г. были проведены эксперименты.



Георгий Степанович Шонин (1935–1997 гг.) — летчик-космонавт СССР, Герой Советского Союза

В 1957 г. окончил Ейское военно-морское авиационное училище летчиков. Служил в ВВС Военно-Морского Флота СССР. В 1960 г. он отобран в отряд космонавтов. В 1968 г. окончил Военно-воздушную инженерную академию имени Н.Е. Жуковского. Кандидат технических наук. Совершил космический полет 11–16 октября 1969 г. в качестве командира космического корабля «Союз-6». С ноября 1990 г. Г.С. Шонин находился в запасе.



Валерий Николаевич Кубасов (1935–2014 гг.) — летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза

В 1958 г. окончил Московский авиационный институт. В 1958–1966 гг. работал в РКК «Энергия». Занимался проектированием пилотируемых космических кораблей. В 1966–1993 гг. состоял в отряде космонавтов. Совершил три полета в космос (1969, 1975, 1980 гг.). 11–16 октября 1969 г. совершил первый космический полет в качестве бортинженера космического корабля «Союз-6» (в экипаже с Георгием Шониным). Во время полета впервые в мире был проведен эксперимент по сварке в условиях космоса. После ухода из отряда космонавтов продолжил работать в РКК «Энергия», а с 1997 г. был научным консультантом.

Автоматизированная сварочная установка «Вулкан», на которой были проведены эксперименты по сварке и резке в открытом космосе, была разработана и изготовлена в Институте электросварки им. Е.О. Патона.

В создании установки принимали участие ведущие ученые института, конструкторы, технологи, рабочие-сборщики аппаратуры, испытатели. Большую помощь в создании установки оказали специалисты РКК «Энергия» им. С.П. Королева. Она позволила выполнять сварку плавлением тремя различными способами: дугой низкого давления с плавящимся электродом, сжатой дугой низкого давления с полым катодом и электронным лучом. Установка «Вулкан» состояла из двух отсеков. В одном (не герметичном) располагались устройства для выполнения каждого из перечисленных способов сварки и вращающийся стол со свариваемыми образцами. Во время работы в этом отсеке поддерживалось низкое давление — космический вакуум. В другом отсеке (герметичном) были установлены автономный аккумуляторный источник электропитания, вторичный источник питания (ВИП — разработка Института электродинамики НАН Украины), блоки управления, средства измерения. Установка была оснащена дистанционным пультом управления. Масса аппаратуры около 50 кг.



Автоматизированная сварочная установка «Вулкан»



Кубасов В.Н. и Шонин Г.С. с установкой «Вулкан» перед полетом на корабле «Союз-6» (1969 г.)

Мощность сварочных устройств для различных способов составляла от 0,6 до 1,0 кВт.

Установка «Вулкан» была размещена в шлюзовом отсеке космического корабля «Союз-6». На период проведения экспериментов этот отсек был разгерметизирован. В нем поддерживалось давление, близкое к забортному  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. Экипаж во время эксперимента находился в герметичном, возвращаемом на Землю, отсеке, отделенном от шлюзового отсека закрытым люком.

Космическое пространство, в котором летают пилотируемые космические корабли и станции, отличается от условий на Земле рядом так называемых факторов космического пространства и, в первую очередь, микрогравитацией и космическим вакуумом. Эксперименты по сварке в космосе были совершенно новым направлением среди тех работ, которые выполнял наш Институт. Поэтому, когда определялись направления работ по сварке в космосе, рассматривались разные виды сварки как в твердой фазе, так и плавлением. Но наиболее гибким и широким видом сварочных работ в космосе для выполнения возможных монтажных и ремонтно-восстановительных операций являются способы сварки плавлением.

Использовать способы сварки, требующие применения газов, в открытом космосе весьма затруднительно. Космическое пространство — это полностью открытый бесконечный объем. Поэтому молекулы газа быстро удаляются в открытый космос. Большие трудности возникают также при применении в космосе метода дуговой сварки плавящимся электродом. При снижении давления окружающей атмосферы характер дугового разряда меняется. При низком давлении плазмообразующим веществом является уже не газ, а пары присадочного и свариваемого материалов. Давление паров в районе столба дуги хотя и выше окружающего, но недостаточно для получения локализованного дугового разряда. Большое влияние на процесс дуговой сварки плавящимся электродом оказывает микрогравитация. Она затрудняет переход в шов расплавляемого электродного металла, а находящиеся на электроде капли металла могут достигать очень больших размеров. Рассмотренные выше проблемы практически отсутствуют при электронно-лучевой сварке. Космический вакуум лишь способствует качественному выполнению электронно-лучевой сварки, а микрогравитация не оказывает на этот процесс существенного влияния.

Проведенные эксперименты позволили установить, что наиболее приемлемым видом сварки в открытом космосе является электронно-лучевая сварка. Было установлено, что при длительной невесомости и космическом вакууме процессы сварки и резки электронным лучом протекают стабильно и обеспечиваются необходимые условия для нормального формирования сварных соединений и резов. Таким образом, эксперименты, проведенные на установке «Вулкан», дали богатейшую информацию, которая позволила в дальнейшем создать новые образцы космической сварочной аппаратуры и разработать технологии сварочных процессов в космосе.

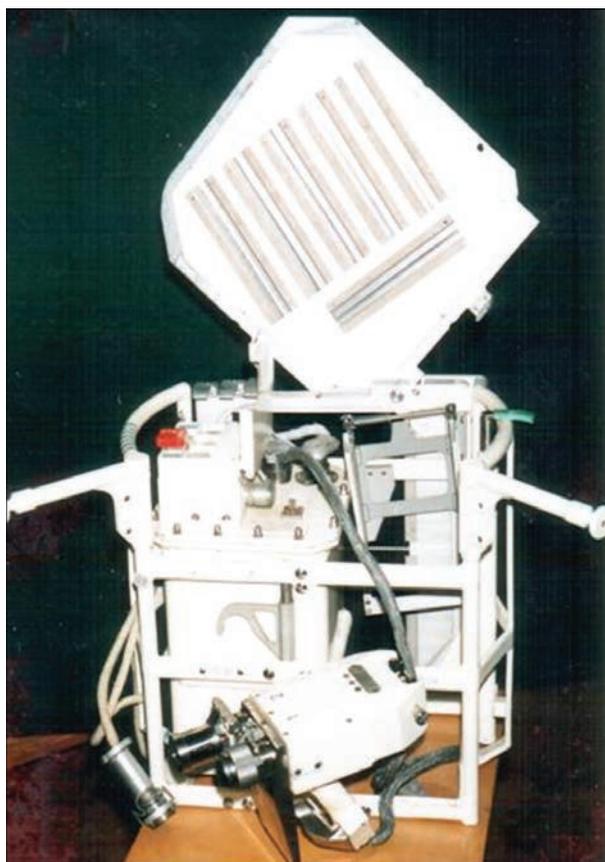
Проведенный эксперимент положил начало эры космических сварочных технологий.

Работы по созданию оборудования и технологий сварки в открытом космосе были продолжены.

При работе в открытом космосе на борту космического аппарата могут возникнуть самые неожиданные ситуации, требующие применения сварки и родственных технологий, причем зачастую вид и объем операций должен будет определяться космонавтами непосредственно на месте. Им придется работать на разных участках космического аппарата и иметь дело с различными конструкционными материалами. Для этих целей в Институте электросварки им.



Патон Б.Е. и Кубасов В.Н. возле установки «Вулкан»



Универсальный ручной инструмент (УРИ)

Е.О. Патона был создан универсальный рабочий инструмент (УРИ). Испытания УРИ в условиях открытого космоса было проведено на борту станции «Салют-7» летчиками-космонавтами С.Е. Савицкой и В.А. Джанибековым. Проведенные эксперименты по сварке, резке, пайке и нанесению покрытий показали хорошие результаты и подтвердили высокую работоспособность аппаратуры УРИ в открытом космосе.

Следующим поколением оборудования для сварки в открытом космосе было создание аппаратуры «Универсал». Основным его отличием от УРИ было увеличение более чем в два раза выходной мощности. Кроме того, был модифицирован ряд основных узлов, которые обеспечили увеличение надежности инструмента. Комплекс «Универсал» прошел всесторонние наземные испытания и был рекомендован для использования в качестве штатного инструмента на орбитальных пилотируемых станциях. К сожалению, в силу ряда объективных причин, комплекс «Универсал» не был испытан в открытом космосе, хотя его испытание предполагалось как на борту космического челнока «Коламбия», так и на станции «Мир».

Анализ результатов наземных технологических экспериментов, проведенных с помощью аппаратуры «Универсал», показал, что с его помощью можно сваривать алюминиевые и титановые сплавы, а также нержавеющую сталь толщиной до 1,5 мм.

В настоящее время в ИЭС им. Е.О. Патона проводятся работы по созданию следующего поколения электронно-лучевого инструмента для сварки в открытом космосе, который включает триодную электронно-лучевую пушку, отделенную от высоковольтного источника питания. Отделение электронно-лучевой пушки от источника питания и использование для этой цели гибкого высоковольтного кабеля с малогабаритным высоковольтным разъемом дает



Комплект оборудования для ручной электронно-лучевой сварки «Универсал»



Ручной электронно-лучевой инструмент нового поколения

возможность существенно уменьшить габариты и массу инструмента, повысить его маневренность при осуществлении технологических процессов в открытом космосе, увеличить срок непрерывной работы и эксплуатационную надежность, а также облегчить операции замены инструментов разного технологического назначения непосредственно за бортом космического аппарата.

В электронно-лучевом инструменте нового поколения значительно увеличена мощность — до 2,5 кВт, что позволяет сваривать алюминиевые и титановые сплавы, а также нержавеющую сталь толщиной 6 мм. Электронно-оптическая система пушки позволяет получать остросфокусированный луч диаметром не больше 0,6 мм. Масса пушки равна 2,5 кг (вдвое меньше, чем в «Универсале»). Ресурс работы катода значительно увеличен и равен 30...40 ч. Смену отработанного катодного узла можно будет провести на орбите в течение 5...10 мин. Предусмотрена возможность работы инструмента не только в ручном, но и автоматическом режиме с использованием робототехнических устройств или манипуляторов.

В последнее время во всем мире проводятся работы, связанные с освоением Луны. В ИЭС им. Е.О. Патона разрабатывается аппаратура для электронно-лучевой сварки в условиях поверхности Луны при создании долговременных Лунных баз и инфраструктуры для этих сооружений. С учетом особенных физических условий на поверхности Луны, в первую очередь, сверхвысокого вакуума (до  $10^{-13}$  мм рт. ст.), необходимая герметичность соединений наиболее надежно может быть обеспечена только с помощью сварки. Поэтому, создание сварочной аппаратуры и технологий для проведения монтажных и ремонтно-восстановительных работ на поверхности Луны является весьма актуальным при ее освоении человеком. Кроме сверхглубокого вакуума на поверхности имеются и другие физические особенности: резкая смена температур от +140 °С днем и до -170 °С в ночное время, пониженная гравитация (1/6 от гравитации на Земле), лунная пыль (реголиты) и др. Все эти особенности необходимо учитывать при разработке как сварочной аппаратуры, так и при создании вспомогательных устройств — рабочего места оператора. В разрабатываемой конструкции пушки учтены условия формирования электронного пучка в сверхглубоком вакууме, которые значительно отличаются от таковых в наземных вакуумных установках и в околоземном пространстве, в котором летают космические корабли и пилотируемые космические станции.

Мы убеждены, что космическая сварочная аппаратура и технологии, начало которым было положено 50 лет тому назад экспериментом «Вулкан», найдут применение при осуществлении разных проектов при строительстве промышленных комплексов на Земной орбите, освоении Луны и полетах на другие планеты, а также по изучению фундаментальных космических явлений.

Мы убеждены, что космическая сварочная аппаратура и технологии, начало которым было положено 50 лет тому назад экспериментом «Вулкан», найдут применение при осуществлении разных проектов при строительстве промышленных комплексов на Земной орбите, освоении Луны и полетах на другие планеты, а также по изучению фундаментальных космических явлений.

