

**З архіву
наукових праць
та виступів Б.Є. Патона**

Б. Е. Патон

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

ПРЕДИСЛОВИЕ К СБОРНИКУ НАУЧНЫХ ТРУДОВ «КОСМОС: ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ»¹

В общей палитре интенсивно и успешно развивающихся теоретических и прикладных космических исследований все большее значение приобретают прогрессивные технологии обработки материалов, началом которых на заре космической эры (1969 г.) стал эксперимент по сварке и резке металлов с помощью аппаратуры «Вулкан». Проблемы скорейшей индустриализации космоса, о которой мечтал С. П. Королев, безусловно, должны решаться с учетом особенностей данной рабочей среды. Прежде всего это необходимо потому, что многие физические явления, протекающие на молекулярном уровне (поверхностное натяжение, адгезия, смачивание, капиллярное давление и др.), в условиях космоса проявляются более активно, чем на Земле.

Успешное осуществление на орбите таких сложных технологических процессов, как сварка, пайка, нанесение покрытий и др., связанных с жидким металлом, потребовали привлечения к исследованиям широкого круга специалистов (теоретиков и практиков), которые и заложили основы нового научного направления — космической технологии.

Одним из важных вопросов в области термической обработки материалов является правильный выбор способа их нагрева. В 1960-е годы, когда готовился первый космический технологический эксперимент, наиболее перспектив-

ным был признан способ прямого и косвенного электронно-лучевого нагрева. Благодаря его гибкости и энергетической эффективности с помощью одного и того же универсального оборудования последовательно на различных режимах можно выполнять в космосе разные технологические операции. Установка «Универсал», разработанная в 1991 г. и состоящая из четырех ручных электронно-лучевых инструментов, прошла успешные наземные испытания и готова к эксплуатации в составе будущих долговременных космических комплексов. Универсальность и перспективность использования электронного луча в космическом пространстве иллюстрируется также возможностью применения инжектированного потока ускоренных электронов для изучения магнитосферы Земли, что предсказано теоретически и подтверждено экспериментально. Использование электронно-лучевого нагрева для проведения на орбите ряда технологических операций не исключает, однако, применения других источников нагрева, например, лучистой энергии Солнца и др., что в некоторых случаях может себя оправдать. Создание на орбите долговременных орбитальных комплексов активизировало проведение систематических исследований по приоритетным направлениям космической технологии.

Наземной отработке экспериментов предшествуют проверка различных гипотез и теоретические разработки, в частности математическое моделирование различных процессов. Для решения

¹ Космос: технологии, материаловедение, конструкции: Сб. науч. тр. / Под ред. академика Б. Е. Патона. — К.: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — 528 с.

прикладных задач космической технологии потребуются знания закономерностей поведения многофазных систем (твердое тело — жидкость, жидкость с твердыми и газовыми включениями и др.). Процессы, протекающие в таких многофазных системах, можно интенсифицировать, а также управлять ими с помощью внешних воздействий (вибрации, ультразвука и т. д.). Так, например, вибрационный эффект резонансного перемешивания жидких несмешивающихся сред и образования устойчивых периодических структур можно использовать при изготовлении уникальных материалов (пеноматериалов, композитов и др.), а эффект локализации и управляемого перемещения газовых пузырьков в колеблющихся средах — при дегазации жидкостей и жидких металлов. Теоретические разработки в области прогнозирования ресурса работы конструкционных материалов и их соединений при комплексном воздействии факторов космического пространства предполагается осуществлять при помощи физического моделирования на масштабных тонкостенных моделях, позволяющих изучать как поверхностные, так и объемные процессы деградации материалов с использованием относительно коротких экспозиций.

Увеличение ресурса работы космических объектов при длительной эксплуатации тесно связано с применением сварочных процессов на орбите для ремонта крупногабаритных конструкций, а также неразрушающего контроля металлических сооружений, в том числе и метода акустической эмиссии в труднодоступных местах.

Стремительное освоение космического пространства в начале 1970-х годов одновременно с возрастанием объемов работ и экспериментов в открытом космосе привело к радикальному изменению операторской деятельности, поскольку при осуществлении технологических процессов на орбите необходимо решать проблемы, связанные как со специфическими условиями космоса, так и с серьезной профессиональной подготовкой операторов. Умение выполнять четкие координированные двигательные операции в условиях невесомости и в снаряжении работать за бортом космического корабля должно стать основой квалифицированной подготовки операторов.

Проведению космических экспериментов обязательно предшествует их отработка на Земле в условиях, имитирующих космические (микрогравитация, вакуум, переменная освещенность, градиент температур, ультрафиолетовое излучение и т. п.). С этой целью на Земле используют различные средства (термо-, баро- и эхо-камеры, летающие лаборатории или «башни невесомости»), обеспечивающие кратковременную микрогравитацию; различного рода стенды, воспроизводящие определенные факторы космической среды и т. п. Несмотря на то что подобная отработка стоит дорого, она оправдывает себя, поскольку позволяет убедиться в реализуемости той или иной поставленной задачи, откорректировать методику проведения запланированного эксперимента или предусмотреть возникновение нештатной ситуации при его осуществлении в космосе.

Для наземной отработки ручных технологических операций в условиях, имитирующих космические, в ИЭС им. Е. О. Патона были созданы специальные стенды, которые эксплуатируются свыше 25 лет и стали незаменимыми при подготовке операторов, работающих со сложной технической аппаратурой, функционирующей за бортом космического объекта.

После тщательной наземной отработки и испытаний на летающей лаборатории, позволивших определить оптимальные технологические параметры установки «Вулкан», были проведены многочисленные технологические эксперименты на орбите, на основе которых разработано универсальное оборудование для проведения ремонтно-монтажных работ непосредственно на орбите, прошедшее успешные испытания в открытом космическом пространстве.

Многолетний опыт ИЭС им. Е. О. Патона по созданию и совершенствованию оборудования для осуществления технологических работ в космосе, которое удовлетворяет требованиям безопасной эксплуатации на космическом объекте, высокой надежности функционирования, совместимости с системами космического корабля и возможностями его экипажа, является залогом успешной разработки управляющего и информационного комплексов нового поколения,

предназначенных для эксплуатации на борту строящейся Международной космической станции.

Практика пилотируемых полетов на орбитальных станциях показала, что при длительной эксплуатации в открытом космосе поверхность космических летательных аппаратов претерпевает деградацию на глубину до 10 мкм, что отрицательно сказывается на функциональных (оптических, электрофизических, физико-механических и др.) свойствах конструкционных материалов. Поэтому нанесение покрытий различного назначения в условиях космического пространства является одной из наиболее важных практических проблем с точки зрения возможности проведения ремонтно-восстановительных работ непосредственно на орбите.

Начиная с 1979 г. ИЭС им. Е. О. Патона занимается разработкой специального оборудования для нанесения покрытий в космосе. За этот период на орбитальных станциях «Салют-7» и «Мир» успешно испытаны не только лабораторные стационарные установки «Испаритель», «Испаритель-М», «Янтарь», но и ручное универсальное оборудование. Исследования получаемых покрытий из чистых металлов (серебра, золота, меди) показали, что по функциональным свойствам (адгезия, внутренние остаточные напряжения, морфология, внутренняя структура, оптические и радиационные характеристики) они не уступают наземным аналогам и находятся на уровне требований промышленных отраслевых стандартов. Возможность получения различных покрытий в космосе, в частности из бинарных сплавов, открывает широкие перспективы их промышленного использования.

За годы существования пилотируемой космонавтики наибольшее количество технологических экспериментов на различных космических объектах было проведено в области космического материаловедения. И это не случайно. Благодаря отсутствию гравитации становится реальной возможность получения материалов с высокой «структурной чистотой», с заданным распределением примесей, а также осуществления бесконтейнерной технологии и др.

Многоцелевое использование космоса при реализации научно-исследовательских про-

грамм вызвало необходимость существенного увеличения габаритов космических объектов, развития их инфраструктуры в процессе эксплуатации. Так, в конструкции ныне существующей станции «Мир» обращает внимание обилие всевозможных надстроек и ферменных сооружений различного назначения на ее внешней поверхности. Кроме того, на борт станции «Мир» в течение 15 лет ее существования было доставлено большое количество крупногабаритных конструкций или их элементов и узлов с целью дооснащения служебных систем станции и экспериментальной отработки перспективных изделий или методик их строительства непосредственно на орбите.

Привлекательной технологией при монтаже элементов ферменных конструкций является пайка. Поэтому вопросы, связанные с этой технологией, постоянно находятся в поле зрения специалистов, начиная от теоретических расчетов параметров процесса и наземной отработки в барокамере до испытаний паяных соединений в открытом космосе. При решении вопросов сооружения протяженных крупногабаритных конструкций необходимо учитывать специфику их эксплуатации в космосе: высокую стоимость доставки на орбиту, ограничения по массе конструкции, ресурс работы, простоту сборки и ремонтпригодность в процессе эксплуатации. Предложено несколько основных принципов сооружения крупногабаритных конструкций в космосе.

Одним из наиболее перспективных направлений еще в 1970-е годы считалось создание различного рода трансформируемых (преобразуемых) конструкций, в том числе и герметичных, позволяющих создавать на орбите модули, склады, шлюзовые отсеки, антенны и т. п. Был разработан ряд интересных подходов к изготовлению удобных легкотранспортируемых конструкций (металлических трансформируемых оболочек). Примером разработки может служить преобразуемая конструкция шлюзового отсека орбитальной станции.

Другим направлением исследований, которые ведутся и сегодня, является создание разворачиваемых рамочных конструкций, позволяющих раскрывать на орбите крупные антенные соору-

жения, монтировать «энергетические поля» и т. п. Создание конструкций подобного типа и связанные с этим вопросы их жесткости, динамической устойчивости потребовали проведения не только теоретических расчетов, но и большого объема наземных и натурных испытаний.

Уходит XX век — эпоха великих открытий и свершений. И одним из величайших его достижений является прорыв человека за пределы Земли в бесконечные просторы космоса. Оценивая пройденный путь, можно констатировать, что достигнуты значительные успехи. Полеты в космос, утратив былую сенсационность, переместились в сферу обыденной плановой деятельности. Однако многое еще предстоит сделать.

Пытаясь заглянуть в будущее, можно предположить, что научно-технический прогресс, как, впрочем, и начавшаяся уже глобальная информационная революция, будут тесно связаны с дальнейшим освоением космоса. В этом контексте особая, пожалуй даже первоочередная, роль принадлежит новейшим прогрессивным технологиям обработки и получения материалов в космосе, био- и агротехнологиям и др., приоритетное значение которых подтверждается все возрастающими темпами их развития. Приближается день, когда на околоземных орбитах будут развернуты крупномасштабные производства, имеющие жизненно важное значение для человечества.