

УДК 061.1:621.791:629.78

Акад. НАН Украины Б. Е. Патон

## **СОТРУДНИЧЕСТВО ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОСВАРКИ ИМ. Е.О. ПАТОНА С КБ "ЮЖНОЕ" И ЮЖМАШЕМ В ОБЛАСТИ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*В статье представлены результаты работ Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины по созданию оборудования и технологии различных видов сварки, сварочных материалов и диагностике конструкций для ракетно-космической техники.*

*У статті подано результати робіт Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України щодо створення розробок обладнання та технології різних видів зварювання, зварювальних матеріалів і діагностики конструкцій для ракетно-космічної техніки.*

*The paper presents the results of the work of the E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine on creation of equipment and technology for various welding processes, welding consumables and structure diagnostics for rocket-space engineering.*

В 2014 году исполняется 60 лет со времени основания конструкторского бюро "Южное". Институт электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) длительное время сотрудничает с КБ "Южное" и Южмашем в области разработки оборудования и технологии различных видов сварки, сварочных материалов и диагностики конструкций узлов ракет и космических аппаратов.

Разработанные в ИЭС оборудование, материалы и технологии контактной стыковой сварки, электронно-лучевой сварки, сварки взрывом, микроплазменной сварки и др. нашли широкое применение в конструкциях ракет и спутников, которые были созданы в КБ "Южное" и изготовлены на Южном машиностроительном заводе.

В ИЭС были решены многие проблемы сварки узлов ракетных конструкций.

Значительные усилия металлургов, сварщиков и других специалистов, а также специально разработанная технология сварки, обеспечивающая полную герметичность сварных соединений и, в первую очередь, неповоротных стыков различных трубчатых соединений позволили создать так называемую ампулизацию ракет, и таким образом долговременное их дежурство в заправленном состоянии.

При сварке несущих конструкций, топливных баков, двигателей и других узлов ракет широкое применение нашли аргонодуговые процессы сварки, для которых в ИЭС вместе с другими организациями бы-

ли созданы качественные сварочные материалы, в том числе вольфрамовые электроды, в частности, легированные иттрием. Они обеспечивают хорошую стабильность дуги и стойкость электрода даже при большой плотности потребляемого электрического тока. Эти электроды применялись для сварки стыков труб из алюминия, нержавеющей стали и титана, а электроды большего диаметра использовались при сварке алюминиевых сплавов топливных баков, титановых шаробаллонов и др. изделий. Сварные швы деталей и узлов, выполненные этими электродами, обеспечили высокую герметичность и прочность.

Для повышения эффективности дуговых процессов были разработаны технологии импульсно-дуговой сварки в аргоне алюминиевых сплавов, а также различные способы управления процессами дуговой сварки. Для сварки различных деталей и узлов ракетной техники применялись плазменно-дуговая сварка переменным током и микроплазменная сварка разнополярными импульсами. Были разработаны источники питания для плазменной и микроплазменной сварки и конструкции плазмотронов. Плазменная сварка применялась для герметизации приборных отсеков из магниевых сплавов, микроплазменная – для изготовления и приварки сильфонов и других тонкостенных узлов.

Многие годы ИЭС с КБ "Южное" и Южмашем проводят работы по созданию

оборудования и технологий контактной стыковой сварки, которая, как показала практика, является эффективным способом изготовления ряда ответственных узлов ракет-носителей. За эти годы создана серия стыкосварочных машин, обеспечивающих сварку шпангоутов (более ста наименований) для всех изделий, которые разрабатывает КБ "Южное" и изготавливает Южный машиностроительный завод. Разработан ряд технологий для контактной стыковой сварки шпангоутов из прессованных профилей алюминиевого сплава, в том числе из чистовых (не требующих дальнейшей механической обработки) и пустотелых профилей площадью поперечного сечения до 30000 мм<sup>2</sup> (рис.1). Контактная стыковая сварка предварительно согнутых в необходимый диаметр заготовок прессованных профилей из высокопрочных сплавов алюминия обеспечивает высокую герметичность при коэффициенте прочности не ниже 0,9 основного металла. При этом коэффициент полезного использования металла составляет 0,95. Оборудование и технология обеспечивают также высокую производительность процесса.

Высокие показатели сварных соединений определили дальнейшее развитие этой технологии для решения более сложных задач.

Были введены в эксплуатацию высокоэффективная технология и машины для контактной сварки продольных швов цилиндрических и конических обечаек толщиной до 40 и длиной сварного шва до 2000 мм (рис.2).



Рис.1. Контактная стыковая сварка шпангоутов из алюминиевых сплавов



Рис. 2. Контактная стыковая сварка оболочек из алюминиевых сплавов

Такая плодотворная работа стала возможной только в тесном сотрудничестве ученых, конструкторов и производителей.

В последние годы были проведены работы по контактно-стыковой сварке деталей силового набора из алюминиевых сплавов. Разрабатывается технология сварки соединений типа "фитинг-стрингер" и др. соединений. Внедрение данной технологии существенно образом усилит и облегчит конструкции сухих отсеков ракет-носителей и позволит увеличить полезную нагрузку.

Специалистами ИЭС и КБ "Южное" разработана технология бездеформационной сварки стрингерных панелей из высокопрочных алюминиевых сплавов (рис.3). Эти панели затем формируются в цилиндрические заготовки и свариваются продольными швами в оболочковые конструкции (рис.4).

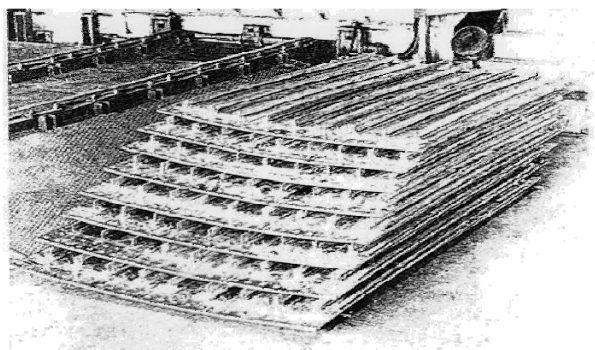


Рис. 3. Стрингерные панели

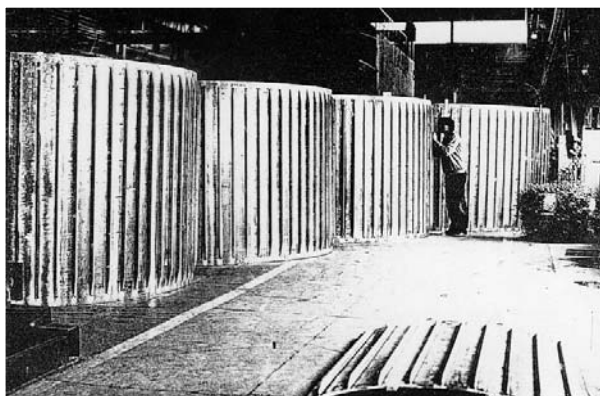


Рис. 4. Элементы стрингерной оболочки

Была решена и более сложная задача – бездеформационная сварка стрингерных оболочек диаметром 4 м (рис.5). Стрингерные панели и оболочки позволяют отказаться от использования фрезерованных конструкций и в 3-4 раза повысить коэффициент использования материала.

Разработанные в ИЭС оборудование (рис.6) и технологии сварки взрывом успешно применены для получения двух- и трехслойных металлических заготовок (рис.7), а также переходников из алюминиевых сплавов и разнородных материалов: алюминия, стали, титана. Было налажено серийное производство с применением сварки взрывом трехслойных металлических трубопроводов подачи топлива и трехслойных переходников для двигателей второй ступени ракеты.

Весьма перспективными для использования в ракетно-космической технике являются сварные оболочковые конструкции преобразуемого объема (рис.8), которые во время транспортировки и монтажа имеют уменьшенные размеры.

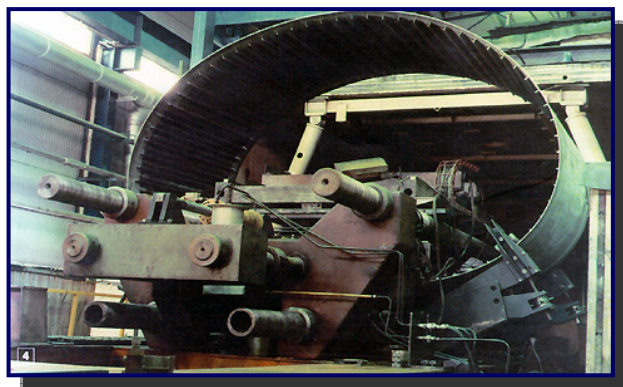


Рис. 5. Сварная стрингерная оболочка в процессе изготовления



Рис. 6. Внутренний вид трубчатой камеры для сварки взрывом, рассчитанной на 200 кг взрывчатого вещества



Рис. 7. Биметаллические детали, полученные сваркой взрывом

Достигается это формоизменением в гофрированные диски заготовок конической или цилиндрической формы. Конструкция из гофрированных дисков превращается под действием незначительного внутреннего давления в емкость заданного объема с коэффициентом трансформации 40-50.

Впервые такая разработанная в ИЭС трансформируемая коническая оболочка была использована как обтекатель на ракетных комплексах, созданных в КБ "Южное". В настоящее время уже есть положительный опыт изготовления и раскрытия трансформированных конструкций диаметром до 4 м. С их помощью можно создавать на орбитальной станции переходные отсеки, складские помещения, штанги для размещения приборов, а также емкости, предназначенные для эксплуатации не только в космосе, но и в земных условиях.



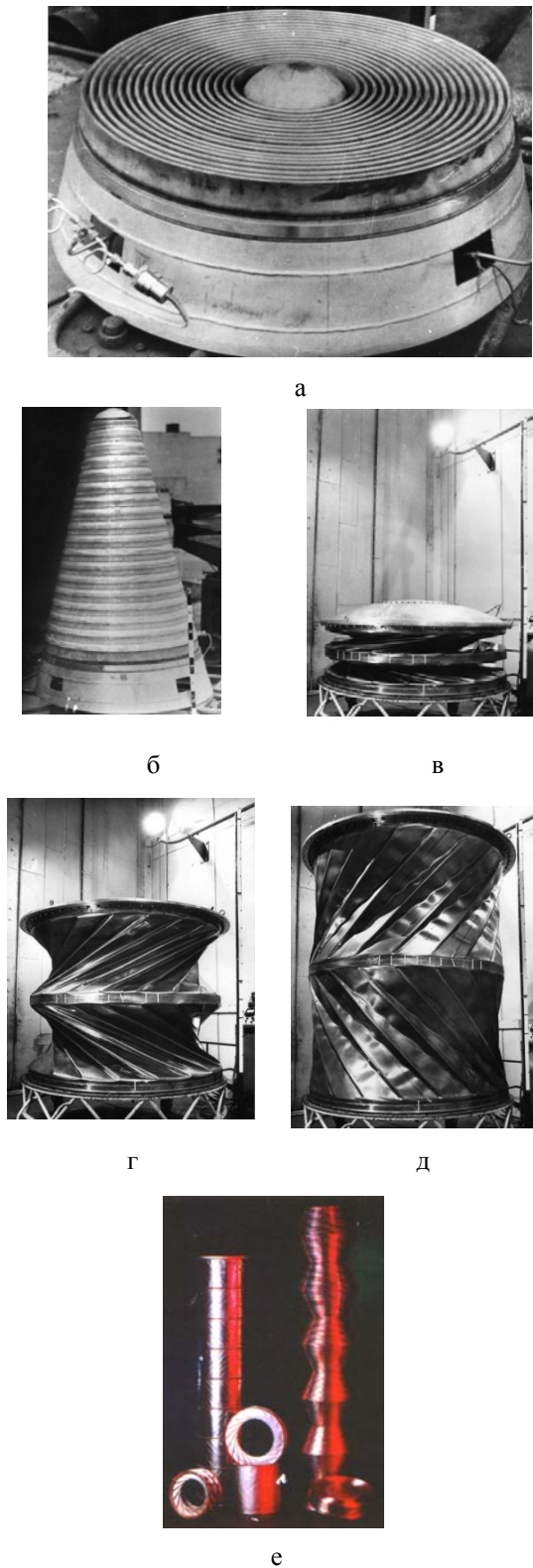


Рис. 8. Трансформируемые оболочковые конструкции:  
 а – обтекатель до трансформирования;  
 б – обтекатель после трансформирования;  
 в-д – этапы трансформирования модели конструкции переходного отсека;  
 е – модели трансформируемых оболочковых конструкций.

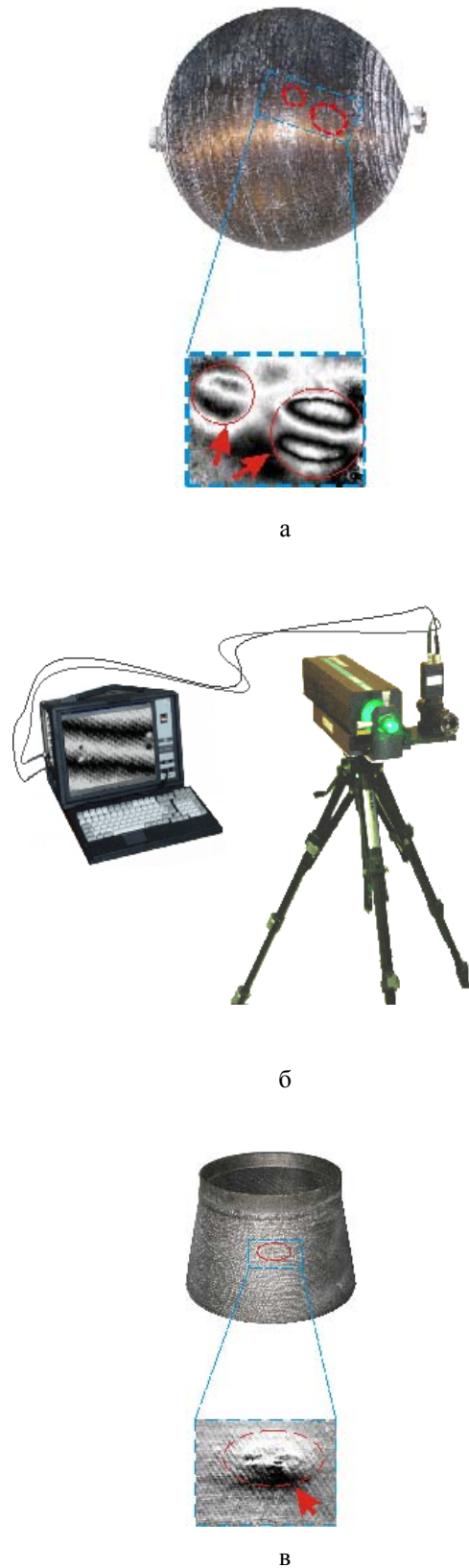


Рис. 9. Неразрушающий контроль качества объектов космической техники методом электронной широкографии:  
 а – стальной шаробаллон;  
 б – система для неразрушающего контроля качества разных конструкционных материалов методом широкографии;  
 в – углерод-углеродный насадок.

Развитие получили работы по созданию технологии и оборудования для диффузионной сварки трехслойных панелей из алюминиевых сплавов для использования их в крупногабаритных узлах адаптера головного обтекателя и переходных отсеков ракет-носителей. Проводится разработка технологии сварки в твердой фазе углерод-углеродных композитных материалов и титановых сплавов для передней кромки аэродинамических рулей, насадок двигателей и соединения трубопровода с камерой сгорания двигателя.

Институт электросварки совместно с КБ "Южное" работал над выбором методов диагностики конструкций космической техники. Эффективным методом контроля зарекомендовал себя метод акустической эмиссии. Для акустико-эмиссионного контроля наиболее ответственных изделий был создан и внедрен ряд промышленных систем, том числе первая в Украине система "Аккорд". Благодаря развитию вычислительной техники стало возможным создание передвижных систем акустико-эмиссионной диагностики. Все созданные системы были предварительно настроены и протестированы в ИЭС на стенде для гидравлических испытаний и на вибрационном стенде. Проведенные исследования показали возможность с достаточной достоверностью определять места появления и развития различного рода дефектов в контролируемых изделиях. Они позволяют проводить стопроцентный контроль состояния материала таких ответственных изделий, как топливные баки ракет и других объектов в условиях их производства и эксплуатации.

Перспективным для неразрушающего контроля качества элементов и узлов конструкций, которые эксплуатируются в космосе, является также современный оперативный метод электронной ширографии. Ширография позволяет определять распределение деформаций по всей контролируемой поверхности объекта в результате приложения к нему механических или температурных воздействий.

К достоинствам метода можно отнести следующее: бесконтактность измерений; возможность визуального наблюдения кинетики интерференционных полос по контролируемой поверхности, вызванной ее деформированием; применимость к исследованию объектов, которые имеют сложную форму; оценка особенностей распределения деформаций, обусловленных внешним влиянием; простота интерпретации картин интерференционных полос при контроле качества конструкций; возможность автоматизации и др. Созданные технологии позволяют проводить контроль качества объектов, изготовленных из разных конструкционных материалов (рис. 9).

Серия экспериментов по неразрушающему бесконтактному контролю качества элементов конструкций космической техники методом электронной ширографии показала ее высокую эффективность и надежность.

Мы уверены, что тесные творческие связи Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины с КБ "Южное" и Южным машиностроительным заводом будут плодотворно продолжаться и развиваться.

Статья поступила 15.01.2014