



КОНСТРУИРОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ВАКУУМНЫХ КАМЕР

Чл.-кор. НАН Украины **О. К. НАЗАРЕНКО**, **В. М. НЕСТЕРЕНКОВ**, канд. техн. наук, **Ю. В. НЕПОРОЖНИЙ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработаны новые принципы конструирования вакуумных камер и технология их сборки под электронно-лучевую сварку, реализованные при создании пяти вакуумных камер объемом от 15 до 34 и двух камер объемом 0,2 м³.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, вакуумная камера, оболочки, несущая способность, снижение металлоемкости, сварочные деформации, механическая обработка, вакуумная плотность

Современная техника неразрывно связана с вакуумными технологиями сушки, сварки, пайки, плавки, металлизации и др., требующими применения различных вакуумных камер — ответственных и трудоемких конструкций, которые при наименьшей металлоемкости должны иметь требуемую жесткость под воздействием атмосферного давления. Особенно это касается крупногабаритных камер с рабочим объемом 20... 40 м³, состоящих из нескольких сотен деталей.

Крупногабаритные вакуумные камеры прямоугольной формы, широко применяемые в установках для электронно-лучевой сварки, содержат одну вакуумплотную оболочку, снабженную в зависимости от формы и размеров продольными, поперечными или продольно-поперечными силовыми поясами [1]. Эти пояса придают оболочке общую устойчивость и жесткость под воздействием атмосферного давления при вакуумировании камеры, однако максимальная деформация стенок такой камеры достигает до 3 мм, что исключает монтаж прецизионных манипуляторов перемещения пушки и свариваемого изделия без использования дополнительных конструкций, позволяющих отсоединить эти механизмы от стенок камеры. Применение указанных конструкций уменьшает коэффициент использования объема камеры (отношение объема свариваемого изделия к общему объему камеры), т. е. увеличивает откачиваемый объем, стоимость вакуумной системы и в результате стоимость всей установки.

В случае применения дуговых способов сварки при изготовлении вакуумных камер зачастую возникает необходимость в последующих термической и механической обработках с целью стабилизации размеров и состояния поверхностей, в частности в зонах расположения вакуумных уплотнений, а при больших габаритах вакуумных камер — в услугах специализированных машиностроительных заводов и в транспортных средствах.

Использование электронно-лучевой сварки, обеспечивающей минимальные сварочные деформации, позволяет принципиально изменить конструирование и технологию изготовления вакуумных камер. Институту электросварки им. Е. О. Па-

тона НАН Украины, благодаря наличию электронно-лучевой сварочной установки УЛ193 с вакуумной камерой объемом 320 м³ (4,25×6,3×11,9 м), расположенной в помещении с порталным краном грузоподъемностью 30 т, удалось реализовать новую технологию, отличительными особенностями которой являются следующие:

использование двух вакуумплотных и прочных оболочек, соединенных между собой ребрами жесткости — шпангоутами. По такому же принципу изготавливают и двери камер;

отказ от применения какой-либо финишной механической обработки поверхностей вакуумной камеры после сварки, поскольку листовые заготовки под сборку и сварку поступают в окончательно обработанном виде.

Принципы конструирования вакуумных камер нового поколения. Исходя из требований защиты обслуживающего персонала от рентгеновского излучения суммарная толщина внешней и внутренней оболочек для электронно-лучевых сварочных установок с ускоряющим напряжением 60 кВ и мощностью пучка 60 кВт выбрана равной 25 мм [2]. Внутренняя оболочка может быть изготовлена как из конструкционной, так и из нержавеющей стали толщиной 8... 14 мм.

Применение коробчатой конструкции стенок и дверей вакуумной камеры вместо обычной тавровой позволяет при одинаковых геометрических параметрах конструкции H , B и δ получить в 2 раза больший момент инерции [3] и как следствие меньший прогиб стенки при откачке вакуума (таблица). Необходимость в применении продольного силового пояса практически отпала, его используют лишь в местах ослабления стенок отверстиями для иллюминаторов и патрубков вакуумной системы. Это позволило значительно (на 25 %) снизить удельную металлоемкость конструкции — массу, отнесенную к объему вакуумной камеры.

Расчетные значения прогибов стенок были сопоставлены с реальными таковых откачанных камер, в частности камеры 2,5×2,5×5,0 м (рис. 1). Незначительные их значения позволили смонтировать манипулятор перемещения пушки непосредственно на боковой стороне камеры (рис. 2, см. вклейку). Этот легкий и компактный манипулятор пушки на базе прецизионных линейных модулей с шарико-винтовыми парами и линейными роликовыми опорами качения обеспечивает высокую точность

Сравнительные характеристики конструкции вакуумных камер со стенками П-образного и коробчатого сечений

Тип сечения	Расчетный элемент стенки вакуумной камеры	Расчетный момент инерции, см ⁴	Максимальный расчетный прогиб, мм	Удельная металлоемкость, т/м ³
П-образное		7560	0,84	1,12
Коробчатое		17515	0,36	0,85

перемещения и позиционирования ($\pm 0,08$ мм при длине хода 2500 мм), малое сопротивление перемещению и высокие динамические характеристики перемещения пушки.

Технология изготовления вакуумной камеры.

Все листовые заготовки под сборку и сварку поступают в окончательно обработанном виде: поверхность листовых заготовок, обращенную внутрь камеры, шлифуют или фрезеруют до шероховатости поверхности не хуже $R_a = 0,8 \dots 3,2$, кромки листов обрабатывают на расточных станках с непараллельностью не хуже 0,1 мм. На обратной стороне листов способом аргонодуговой сварки приваривают шпильки, с помощью которых на сборочно-сварочном стенде крепятся листы. Листовые заготовки из конструкционной стали проверяют на уровень остаточной намагниченности и в случае превышения значения $2 \cdot 10^{-4}$ Тл размагничивают посредством крупногабаритного соленоида [2].

Основной тип сварного соединения стенок оболочки и самой оболочки — стыковый со сквозным проплавлением, что обеспечивает получение минимальных угловых деформаций. Перед сборкой листовые заготовки очищают от эмульсии и масла, а свариваемые кромки тщательно промывают техническим спиртом.

В сборочном приспособлении (рис. 3, см. вклейку) кромки свариваемых листов выставляют с превышением (депланацией) не более 0,2 мм. По концам стыкового соединения механически прикрепляют вводную и выводную планки, прихватку которых к листам, как и непосредственно электроннолучевую сварку, выполняют в сварочной установке УЛ193 при вакууме $1,1 \cdot 10^{-1}$ Па. Наведение электронного пучка на стык и его ведение по стыку во время сварки осуществляют с помощью системы Растр-5 [2], а управление всеми энергетическими параметрами процесса сварки — компьютерной системы.

Процесс сварки подразделяют на несколько этапов. После совмещения электронного пучка со стыком, что хорошо видно на мониторе компьютера, оператор выполняет очистку поверхности стыка посредством электронного пучка. С этой целью включают развертку пучка по кругу диаметром 12 мм, увеличивают ток пучка до 10 мА и на скорости 8 мм/с производят очистку свариваемой поверхности. Второй этап заключается в наложении прихваток от центра к краям при мощности пучка, равной 30 % номинального значения сварочного тока. Длина прихваток составляет 100 мм, а расстояние между ними — 300 мм. Программу прихватки набирают на компьютере и включают в нужной точке соединения. Сварку листов, например конструкционной стали толщиной 14 мм, выполняют с использованием аппаратуры ЭЛА-60/60 при токе пучка 160 мА, скорости сварки 8 мм/с и расположении фокального пятна на поверхности изделия. Как отмечалось выше, такой режим сварки обеспечивает сквозное проплавление оптимальной формы.

Последний этап сварки — это косметический проход по шву расфокусированным пучком с током, составляющим около 25 % номинального сварочного, для получения ровной, гладкой поверхности шва, что необходимо согласно требованиям гигиены при эксплуатации вакуумной камеры.

Подготовку к сборке сваренных стенок камеры (рис. 4, 5, см. вклейку) производят следующим образом. Сначала удаляют вводные и выводные планки, затем зачищают и обезжиривают свариваемые кромки. На отдельной ровной площадке укрепляют шпангоуты камеры. В полученный таким образом каркас последовательно подают все четыре стенки внутренней оболочки (рис. 6, см. вклейку). Предварительное крепление стенок к шпангоутам осуществляют с помощью шпилек, используемых ранее при сварке листовых заготовок. Специальными болтами сборочной оснастки в собранных стыках регу-

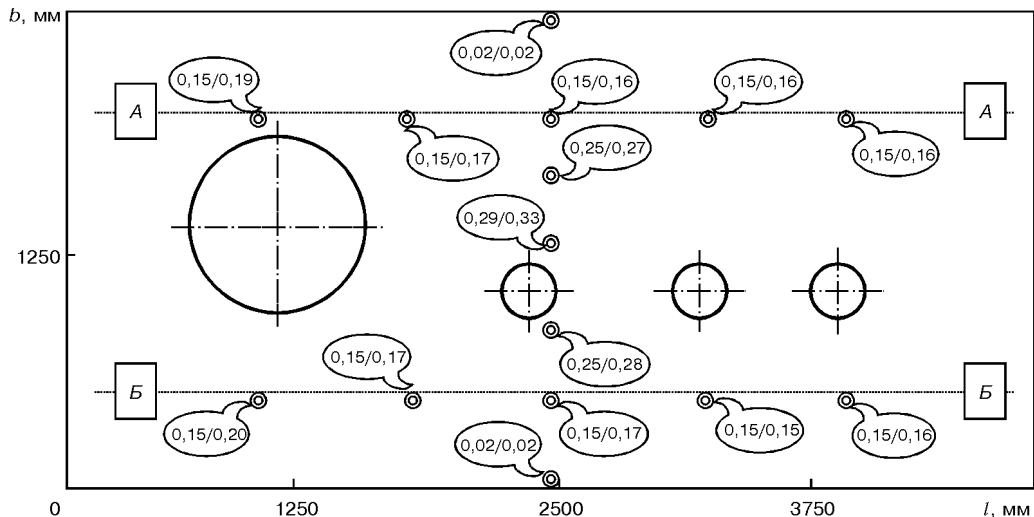


Рис. 1. Расчетные (числитель) и измеренные (знаменатель) значения прогибов стенки камеры $2,5 \times 2,5 \times 5,0$ м, находящейся под вакуумом; А-А и Б-Б — оси закрепления соответственно верхней и нижней направляющей манипулятора перемещения пучка вдоль камеры; l , b — соответственно длина и высота стенки камеры

лируют зазор, который не должен превышать 0,15 мм. В восьми углах внутренней оболочки устанавливают и механически крепят вводные-выводные планки с последующей их приваркой электронным пучком к стенкам. Собранный оболочку в обрамлении шпангоутов устанавливают в вакуумной камере для электронно-лучевой сварки. Особенностью этого этапа является наложение швов между шпангоутами, начиная с середины до краев стенок. Программа сварки предусматривает плавное увеличение тока пучка до рабочего значения в начале и его плавное уменьшение в конце сварки. Благодаря этому обеспечивается отсутствие дефектов в зонах перекрытия швов.

После сварки прерывистыми швами четырех угловых стыков оболочку вынимают из сварочной камеры, шпангоуты перемещают вдоль стенок так, чтобы открылись несваренные участки стыков. Особенностью последующей сварки этих участков является гарантированное перекрытие зон ввода-вывода тока пучка на ранее наложенных прерывистых швах и выполнение новых прерывистых швов с новыми участками ввода-вывода тока пучка.

На заключительной стадии внутреннюю оболочку прихватывают к шпангоутам по всему периметру способом сварки в углекислом газе. По приведенной выше технологии собирают и сваривают внешнюю оболочку камеры. В этом случае приварку листов

внешней оболочки к шпангоутам осуществляют электрозаклепками. Перед покраской камеры производят вакуумные испытания сначала объема между двумя стенками, а затем в сборе с дверями, в результате чего обеспечивается удобный доступ ко всем сварочным швам. При вакуумных испытаниях практически исключается натекание воздуха во внутреннюю камеру в процессе выполнения сварочных работ.

В качестве примера приведем замеры допусков реально полученных размеров вакуумной камеры $2,5 \times 2,5 \times 2,5$ м, которые для диагоналей проходного сечения камеры составляют $\pm 0,5$ мм, а отклонения от плоскости торцевых поверхностей камеры — 0,4 мм. Для уплотнения дверей с камерой не используют каких-либо прижимных механизмов — достаточно лишь начать процесс откачки камеры. Общий вид готовой камеры приведен на рис. 7 (см. вклейку).

1. *Оборудование для электронно-лучевой сварки* / А. И. Чвертко, О. К. Назаренко, А. М. Святский. — Киев: Наук. думка, 1973. — 408 с.
2. *Электронно-лучевая сварка* / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
3. *Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В.* Справочник по сопротивлению материалов. — Киев: Наук. думка, 1975. — 704 с.

New principles of design of the vacuum chambers and technology of their assembly for electron beam welding were developed, that were implemented in fabrication of five vacuum chambers of 15 to 34 m³ volume and two chambers of 0,2 m³ volume.

Поступила в редакцию 23.03.2001