

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛС ПРИ КОСМЕТИЧЕСКОМ ЗАГЛАЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ ОБРАТНЫХ ВАЛИКОВ ШВА ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Л. А. КРАВЧУК, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены аппаратурные и технологические решения для косметического заглаживания и ремонта линейных обратных валиков шва длиной до 1200 мм внутри неповоротных протяженных трубчатых изделий прямоугольной формы с помощью системы преломления электронного пучка на 90° . Применительно к титановому сплаву VT20 получены параметры электронно-лучевого заглаживания, обеспечивающие формирование плавного перехода от основного металла к шву, гладкую поверхность расплавленного металла и исключение подрезов глубиной до 0,15 мм.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, сквозное проплавление, обратный валик шва, подрезы, электронный пучок, поворотная система, протяженные трубчатые изделия, рабочее расстояние, фокусировка, глубина и ширина проплавления, кратер

При электронно-лучевой сварке (ЭЛС) со сквозным проплавлением неповоротных и поворотных стыков протяженных трубчатых изделий круглой, квадратной и прямоугольной формы в ряде случаев внутренняя поверхность является рабочей. Выполнить косметический проход или ремонт для устранения неровностей на поверхности обратного валика шва, небольших кратеров и подрезов по краям валика с помощью электронного пучка обычным способом не представляется возможным из-за ограниченности внутренних размеров изделия и затрудненного доступа к месту обработки.

Известен способ оплавления внутренней поверхности трубчатых изделий с помощью электронного пучка, отклоненного электрическим полем [1]. Использование медного отражателя, установленного на керамическом изоляторе, позволяет накопить заряд при попадании на него электронного пучка и создать поле между стенкой трубы и отражателем, с помощью которого пучок отклоняется по заданной траектории на внутреннюю поверхность оплавливаемой трубы. При управлении отклонением электронного пучка изменяются угол наклонной торцевой поверхности отражателя, расстояние между отражателем и оплавливаемой трубой, форма отражателя и регулировка параметров первичного электронного пучка. Недостатком данного способа оплавления является необходимость поддержания зазора между отражателем и внутренней поверхностью трубы не менее 3 мм, а также расположения стыка или обратного валика шва на глубине не более 110 мм.

Исследования по ремонту и косметическому заглаживанию обратных валиков шва производи-

ли на установке КЛ-138 конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона с компьютерным управлением всеми параметрами и системами. Установка укомплектована энергетическим комплексом на базе ЭЛА-60/60 и электронно-лучевой пушкой, которая перемещается внутри вакуумной камеры по линейным координатам X, Y, Z , а также поворачивается вокруг оси $Y-Y$ по координате QG на угол $0 \dots 90^\circ$. Вакуумная камера, имеющая внутренний размер $4500 \times 3000 \times 3000$ мм и объем $40,5 \text{ м}^3$, откачивается в автоматическом режиме управления до рабочего вакуума $2,66 \cdot 10^{-2}$ Па ($2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.) менее чем за 30 мин. Применение в процессе откачки криогенератора типа POLYCOLD позволило существенно уменьшить время откачки и количество влаги в вакуумной камере и стыке свариваемых кромок, что особенно важно при сварке титановых сплавов [2]. При ускоряющем напряжении $U_{\text{уск}} = 60$ кВ диапазон тока электронного пучка $I_{\text{п}} = 0 \dots 1000$ мА перекрывается с помощью двух оптик: 500 мА ($I_{\text{п}} = 0 \dots 500$ мА) и 1000 мА ($I_{\text{п}} = 0 \dots 1000$ мА). Точность позиционирования электронно-лучевой пушки по координатам составила не хуже 0,1 мм. Изображение места сварки во вторично-эмиссионных электронах, а также совмещение электронного пучка со стыком с погрешностью 0,1 мм выполняли с помощью системы РАСТР.

Для ремонта и косметического заглаживания линейных и кольцевых обратных валиков шва внутри трубчатых изделий длиной до 1200 мм, а также исключения трудоемкой механической обработки корневой части шва при сварке, которую выполняют с внешней стороны изделия, разработана система преломления электронного пучка на 90° , работающая по принципу воздействия на электронный пучок неоднородным магнитным полем путем изменения постоянного тока в катушке электромагнита. Как показано на рис. 1, поворотную систему устанавливают на торцевой повер-



Рис. 1. 90°-Поворотная система для ремонта и косметического заглаживания обратного валика шва

ности электронно-лучевой пушки. Она состоит из полой трубы требуемых диаметра и длины, а также водоохлаждаемой электромагнитной поворотной системы. Положение в пространстве поворотной системы выбирается таким образом, чтобы после преломления на 90° электронный пучок следовал строго вертикально вниз. Получение изображения стыка и обратного валика внутри трубчатых изделий, а также наведение электронного пучка выполняются с помощью отклоняющей системы, установленной перед поворотным электромагнитом, датчика вторично-эмиссионного сигнала и системы РАСТР. Отклоняющая система основной электронно-лучевой пушки при работе системы преломления электронно-лучевого пучка на 90° отсоединяется от системы РАСТР, ее используют для юстировки электронного пучка и его установки в промежутке между полюсными наконечниками электромагнита. Экспериментально определено, что конструкция системы преломления электронного пучка на 90° обеспечивает надежную и долговременную работу при токе пучка $I_{\text{п}} = 0 \dots 100$ мА.

Ремонт и косметическое заглаживание линейных обратных валиков выполняли на пушке с оптикой 500 мА внутри трубчатых изделий прямоугольной формы длиной до 1200 мм, изготовленных из титанового сплава ВТ20, при перемещении системы преломления электронного пучка на 90° вдоль обратного валика. Выбор материала изделия обусловлен неравномерным формированием обратного валика шва с подрезами по краям, особенно характерными при сквозном проплавлении электронным пучком титановых сплавов толщиной более 6 мм [3].

Выбор оптимальных параметров (тока пучка $I_{\text{п}}$, скорости сварки $v_{\text{св}}$, тока фокусировки $I_{\text{ф}}$ и рабочего расстояния $l_{\text{раб}}$ от среза системы преломления электронного пучка на 90° до изделия) процесса электронно-лучевого заглаживания и ремонта осуществляли путем выполнения ряда

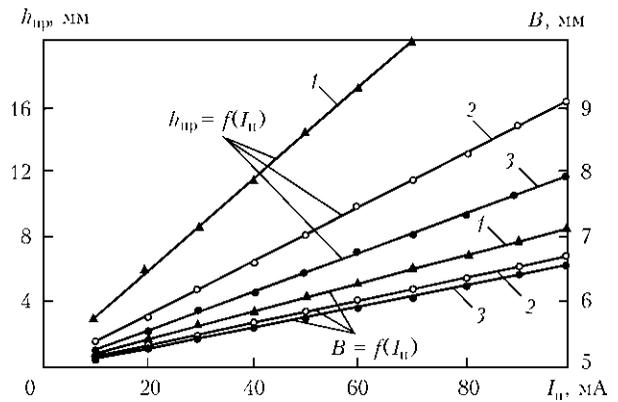


Рис. 2. Зависимость глубины $h_{\text{пр}}$ и ширины B проплавления сплава ВТ20 от тока пучка при $v_{\text{св}} = 3$ (1), 6 (2) и 10 (3) мм/с при $U_{\text{уск}} = 60$ кВ, $l_{\text{раб}} = 100$ мм

проплавлений на сплошном образце титанового сплава ВТ20 толщиной 17 мм.

После проплавления на рабочем расстоянии $l_{\text{раб}} = 100$ мм и приготовления поперечных макрошлифов получена экспериментальная зависимость глубины $h_{\text{пр}} = f(I_{\text{п}})$ и ширины проплавления на поверхности образца $B = f(I_{\text{п}})$ от значения тока пучка в диапазоне $I_{\text{п}} = 10 \dots 100$ мА при скорости сварки $v_{\text{св}} = 3, 6$ и 10 мм/с. Как показано на рис. 2, при $v_{\text{св}} = 6$ мм/с и $I_{\text{п}} = 20$ мА глубина проплавления $h_{\text{пр}} \cong 2,5$ мм, а ширина $B \cong 5,3$ мм. Такой режим рекомендован для косметического заглаживания обратного валика шва шириной 1...3 мм. При выполнении ремонта по устранению или уменьшению неравномерности формирования обратного валика по длине, а также небольших кратеров достаточно повысить ток пучка $I_{\text{п}}$.

В случае протяженных трубчатых изделий прямоугольной формы при изменении положения обратного валика по высоте, т. е. с изменением поперечного сечения по длине изделия, необходимо определить значение коэффициента $K = \Delta l_{\text{раб}} / \Delta I_{\text{ф}}$. Установлено, что для системы поворота электронного пучка на 90° длиной 1200 мм при изменении рабочего расстояния $l_{\text{раб}}$ в диапазоне 100...200 мм коэффициент $K = 20$ мм/мА, т. е. ток фокусирующей линзы электронно-лучевой пушки с оптикой 500 мА изменится на $\Delta I_{\text{ф}} = 5$ мА при изменении рабочего расстояния на $\Delta l_{\text{раб}} = 100$ мм. Такая слабая зависимость $I_{\text{ф}} = f(l_{\text{раб}})$ свидетельствует о том, что в данном случае имеет место длиннофокусная система.

Отработку режимов косметического заглаживания обратных валиков швов с применением системы преломления электронного пучка на 90° производили на плоских образцах из титанового сплава ВТ20 толщиной 17 мм. Сварные швы и обратные валики предварительно были получены после выполнения сквозного проплавления на весу без подкладки титановых образцов горизонтальным электронным пучком на скорости сварки $v_{\text{св}} = 30$ мм/с основной электронно-лучевой пушкой

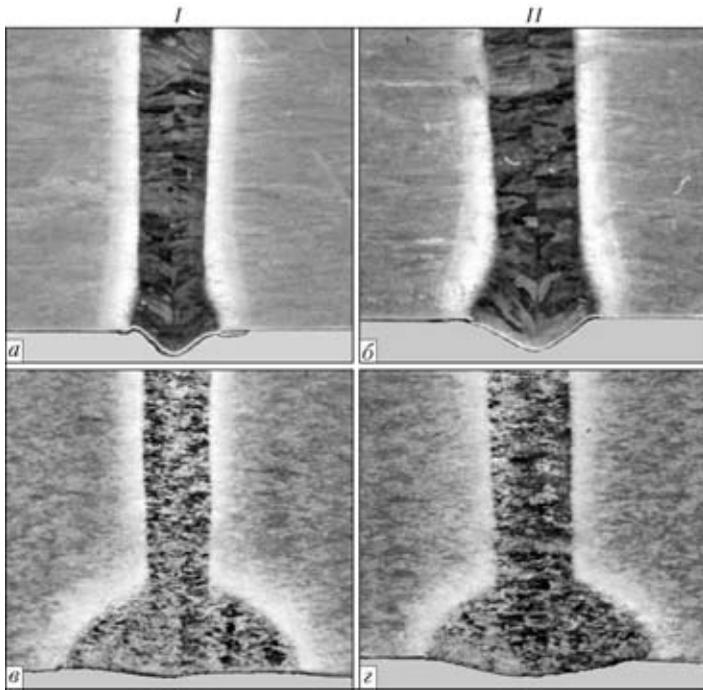


Рис. 3. Макроструктура ($\times 27,5$) сварных соединений сплава VT20 и формирование обратных валиков шва шириной 1,2 (I) и 1,8 мм (II) до (а, б) и после (в, г) их косметического заглаживания

установки КЛ-138 без системы преломления электронного пучка на 90° поворота при движении пушки в горизонтальной плоскости [4]. Путем изменения амплитуды поперечных колебаний электронного пучка по пилообразному закону удалось сформировать бездефектные лицевые валики шва и обратные валики с небольшими подрезами и без подрезов шириной 1,2...2,0 мм и высотой 0,5...0,8 мм. Как показано на рис. 3, косметический проход по обратным валикам швов шириной 1,2 мм (рис. 3, а, в) и 1,8 мм (рис. 3, б, г) на подобранном режиме ($U_{\text{уск}} = 60$ кВ, $I_{\text{п}} = 20$ мА, $v_{\text{св}} = 6$ мм/с, $l_{\text{раб}} = 100$ мм) позволил сформировать корневую часть шва с плавными переходами от основного металла ко шву, получить гладкую поверхность без капель расплавленного металла и устранить небольшие подрезы глубиной до 0,15 мм. Высота обоих обратных валиков уменьшилась и составила не более 0,4 мм, а глубина проплавления со стороны корня шва — 2,5 мм, что согласуется с результатами, приведенными на рис. 2.

Полученные результаты реализованы при косметическом заглаживании обратного валика шва на протяженном трубчатом изделии прямоугольной формы сложной конфигурации с расположением обратного валика на нижней поверхности. При движении системы поворота электронного пучка на 90° вдоль обратного валика $l_{\text{раб}} = 100...250$ мм. При составлении компьютерной программы управления косметическим заглаживанием все параметры электронного пучка сохраняются постоянными, кроме тока фокусировки $I_{\text{ф}}$. Такой прием позволил получить практически постоянную ширину проплавления по всей длине изделия, которая составила $B \cong \cong 5,3$ мм.

Исследования по косметическому заглаживанию линейных обратных валиков шва в полной мере могут быть применены при ЭЛС со сквозным проплавлением поворотных стыков протяженных трубчатых изделий круглой формы. В этом случае задача заглаживания упрощается, так как рабочее расстояние сохраняется постоянным. При выполнении ЭЛС протяженных изделий из тугоплавких материалов с глубиной проплавления $h_{\text{пр}} \leq 6$ мм, например, таких, как волноводы и резонаторы [5], применение системы преломления электронного пучка на 90° является единственным возможным вариантом косметического заглаживания обратного валика шва с образованием гладкой поверхности без подрезов.

1. Боровик В. М., Фролов О. В., Шубин Ф. В. Оплавление внутренней поверхности цилиндрических образцов отклоненным пучком // Материалы XI Всесоюз. науч.-техн. конф. по электронно-лучевой сварке (г. Николаев, 1–3 окт. 1991 г.). — Л.: Судостроение, 1991. — С. 73–74.
2. Назаренко О. К. Сокращение времени откатки крупногабаритных вакуумных камер электронно-лучевых сварочных установок // Автомат. сварка. — 2008. — № 3. — С. 54–55.
3. Нудельман Я. Б., Задерий Б. А. Формирование швов при электронно-лучевой сварке сплавов титана толщиной до 25 мм // Там же. — 1988. — № 5. — С. 29–30.
4. Кравчук Л. А. Устранение подрезов при ЭЛС со сквозным и несквозным проплавлением // Там же. — 2010. — № 6. — С. 26–29.
5. Жданевич М. Л. Деформации резонаторов при электронно-лучевой сварке // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. «Электроннолучевая сварка в машиностроении» (г. Николаев сент. 1989 г.). — Николаев, 1989. — С. 41–42.

Given are hardware and technological solutions for cosmetic smoothing and repair of linear back beads of up to 1200 mm long welds inside extended position tubular parts of a rectangular shape obtained by using the system for refraction of the electron beam by 90° . Parameters of electron beam smoothing for titanium alloy VT20 were determined, providing formation of a smooth transition from the base metal to weld, smooth surface of molten metal and elimination of undercuts down to 0.15 mm deep.

Поступила в редакцию 27.12.2011