

Рентабельно ли применение электронно-лучевой сварки в ядерной энергетике?

Сваривание «толстостенных» компонентов для ядерной промышленности может осуществляться с использованием разных низкокзатратных технологий, но остаточная намагниченность материалов делает их применение малоэффективным. Поиски подходящих технологий, которые могли бы использоваться в ядерной энергетике в более широких масштабах, ведутся многие годы. Несмотря на то, что объемы сварочных работ в ядерной промышленности небольшие, необходимо найти соответствующее решение в связи с высокими требованиями к безопасности сварных компонентов.

Как правило, сваривание «толстостенных» компонентов, таких как корпуса атомных реакторов, в ядерной промышленности традиционно осуществляется с использованием технологий электродуговой сварки, которые требуют многократных сварочных проходов с промежуточным неразрушающим контролем (NDE) и предварительным нагреванием компонента для снижения риска водородного растрескивания.

Соединение компонентов ядерных установок в данный момент производится с использованием дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа. Применение данного вида сварки для «толстостенных» герметичных конструкций, таких как корпус высокого давления ядерного реактора, – является дорогостоящей и длительной процедурой с серьезной подготовительной работой, включая приспособления крепления, оснастку инструментами, предварительное нагревание компонентов и множественные сварочные проходы. Еще один недостаток, связанный с использованием газовольфрамовой дуговой сварки, состоит в том, что она проникает на ограниченную глубину, поэтому сваривание толстостенных компонентов осуществляется путем заполнения сварного соединения в несколько проходов. Как правило, для обычного корпуса высокого давления ядерного реактора с толщиной стенки 140мм и более требуется до 100 сварочных проходов.

Соответственно, использование данной технологии связано с определенными недостатками, а именно, множественными сварочными проходами, для которых необходимо предварительное нагревание, температурным контролем между проходами, а также промежуточными проверками неразрушающего контроля на протяжении всего процесса. Таким образом, на сварочные работы, контроль и изготовление корпуса высокого давления ядерного реактора уходят недели или даже месяцы, а это составляет большую долю стоимости и времени производства компонента.

В прошлом было много попыток применять электронно-лучевую сварку (ЭЛ) с местной вакуумной откачкой, но в большинстве из них появилось препятствие в виде необходимости работы при высоком вакууме. Ранее Институт сварки, который является профессиональной



организацией, продемонстрировал, что использование ЭЛ технологий в диапазоне давления 0,1-10мбар, или так называемое «пониженное давление», в отличие от высокого вакуума $\sim 10^{-3}$ мбар, открывает возможности более надежного применения местной изоляции и откачки для ЭЛ сварки на крупных конструкциях. В конце 1990-х годов TWI разработала систему ЭЛ сварки высокой мощности (60кВт) для сварки кольцевым швом длинных трубопроводов для передачи нефти и газа из месторождений под морским дном. Было получено стабильное отличное качество сварного шва с начальной откачкой и гибкими резиновыми уплотнителями, кроме того, технология продемонстрировала хорошую устойчивость к чистоте, отделке и состоянию поверхности материала, а также рабочему расстоянию с потенциалом полной кольцевой сварки трубы диаметром 711мм с толщиной стенки 40мм за менее, чем пять минут.

Более новая разработка в технологии электронно-лучевой сварки предлагает возможность сваривания «толстостенных» компонентов в один проход, устраняя необходимость в неразрушающих испытаниях, что означает значительную экономию времени и средств при изготовлении корпусов ядерных реакторов. Кроме того, появляется возможность отказаться от предварительного нагрева, так как ЭЛ технология работает в условиях вакуума.

Существует множество преимуществ использования электронно-лучевой сварки в ядерной промышленности по сравнению с другими сварочными технологиями. Она дает возможности значительной экономии средств и времени при производстве «толстостенных» компонентов благодаря высокой скорости соединения вследствие использования технологии, сваривая стыки по всей толщине в один проход.

Тем не менее, из-за физических размеров и геометрической формы корпуса ядерного реактора, использование традиционных вакуумных камер было бы неоправданно дорогим, учитывая небольшие объемы сварочных работ в ядерной промышленности.

Недавно компания Cambridge Vacuum Engineering начала применять революционную технологию электронно-лучевой сварки с использованием местного вакуума под названием EBFlow, которая сейчас проходит испытания в Великобритании. В рамках проекта EBMan Power, который осуществляется совместными усилиями компаний CVE, TWI, U-Battery и Cammell Laird, система EBFlow будет впервые использована на крупном производственном объекте в целях обеспечения возможностей для создания масштабной инфраструктуры по производству электроэнергии с оптимальными затратами.

Технология EBFlow будет главным образом сосредоточена на снижении стоимости «толстостенных» стальных сооружений, используемых, как в ядерной, так и в оффшорной ветряной энергетике. Партнеры по сотрудничеству надеются, что их проект сыграет ключевую роль, способствуя выходу технологии EBFlow на рынок и ее применению в реальных условиях.

Существует множество преимуществ использования технологии EBFlow в ядерной промышленности по сравнению с другими сварочными технологиями. Целью данного проекта является производство компонентов ядерных энергетических установок. Подобные процессы уже успешно применяются в других отраслях промышленности, но в сфере энергетики данный подход используется впервые.

В настоящее время «толстостенные» стальные конструкции пользуются большим спросом в сфере производства энергии, который с годами будет расти. Сейчас для производства обычного монофундаментного столба длиной 100 метров (толщиной 100мм) может



понадобиться более шести тысяч часов электродуговой сварки. Система «EBFlow», которая основана на высокопроизводительной Электронно-лучевой сварке, может сократить время сварочных работ до менее чем 200 часов, что равносильно уменьшению издержек более, чем на 85%.

Согласно плану, проект EBMan Power должен завершиться в 2021-м году и воплотить в жизнь результаты многолетних разработок и попыток применения электронно-лучевой сварки в мировой промышленности. Технология превратится из возможности в реальность и, возможно, станет решением некоторых глобальных производственных проблем, а также поспособствует разрешению так называемой «энергетической трилеммы» (низкий уровень выделения углекислого газа, безопасность и доступность энергии) и создаст условия для развития экологически чистой экономики.