

**Н.Ч.:** Методики проектирования сосудов регламентированы нормативными документами — это VIII секция ASME и ГОСТы с нормами расчета на прочность. Мы используем прикладные программные средства, позволяющие выполнять расчет по этим методикам.

К ним относятся, во-первых, программный комплекс ПАССАТ отечественной разработки, предназначенный для проведения расчетов прочности и устойчивости нефтехимического оборудования в соответствии с нормами и правилами, действующими в Российской Федерации. Комплекс ПАССАТ имеет сертификат соответствия Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Во-вторых, программа PVElite (США), предназначенная для механического расчета и анализа сосудов, работающих под давлением, в соответствии с европейским стандартом EN 13445 или стандартом Великобритании BS 5500, или американским кодом ASME BVP, раздел VIII, секции 1 и 2.

Для решения специальных проблем в рамках проектирования сосудов высокого давления применяются многофункциональные программные комплексы отечественной и зарубежной разработки: ANSYS (США), COSMOS/M (США), «Зенит-95» (Россия), построенные на использовании метода конечных элементов и включающие в себя, в том числе, модули линейного статического анализа механических и тепловых

нагрузок, расчета стационарного и нестационарного температурного состояния, расчета собственных частот и форм колебаний, а также модули нелинейного анализа в условиях геометрической и физической нелинейности.

**Ред.:** Лицензиар выдвигает свои строгие требования к качеству оборудования. Правда, что степень соответствия этим требованиям закладывается уже на этапе проектирования оборудования?

**Н.Ч.:** Да, безусловно. Требования технических условий лицензиара закладываются в основу спецификаций на заказ заготовок, технических требований на изготовление оборудования, а также в конструктивные элементы сосуда. 

## ПРИНЦИП РАВНОПРОЧНОСТИ



**Ред.:** Александр Владимирович, в создании реакторов для нефтепереработки кроме прочности металла огромную роль играет и качество сварки. От чего оно зависит: от сварочного оборудования, мастерства сварщиков или еще от чего-то?

**А.В.:** Прочность реактора для нефтепереработки определяется

не только высокой прочностью металла, из которого он изготавливается, но и высокой прочностью сварных швов, которыми этот металл соединен в единое целое. Таким образом, при изготовлении мы, технологи по сварке, должны всегда руководствоваться принципом равнопрочности, то есть обеспечить прочность

сварного шва не ниже, чем прочность основного металла.

Еще один важный момент: кроме высокой прочности сварные швы должны иметь полный комплекс механических свойств не ниже свойств основного металла, в том числе: высокую работу удара на образцах с острым надрезом (Шарпи) при отрицательных температурах (например, при минус 18°C), высокую прочность при температурах эксплуатации (так называемую «горячую» прочность), высокую стойкость к разрушению при длительных нагрузках при высоких температурах (так называемую «длительную» прочность), стойкость к тепловому охрупчиванию при ступенчатом охлаждении (Step cooling) и др. Сварные швы, кроме того, должны быть выполнены без дефектов по неразрушающим контролям (УЗК, РК, МПК и др.) и обеспечивать стойкость к трещинам (в том числе, к так называемым трещинам повторного нагрева).

Все это достигается целым комплексом мероприятий: правильным выбором сварочных материалов, правильно разработанной технологией сварки, правильно подобранными послесварочными термическими отпусками. Что, безусловно, обеспечивается высокой квалификацией технологов отдела главного сварщика (ОГС). А вот исполнение технологии сварки без отклонений обеспечивается высокой квалификацией и мастерством сварщиков на производстве. Ну и, конечно, все это невозможно без наличия высокотехнологичного современного сварочного оборудования.

**Ред.:** *Есть ли какие-то собственные отработанные технологии сварки сосудов нефтехимии?*

**А.В.:** Что касается наших технологий сварки, можно сказать, что Ижорские заводы обладают достаточно большим количеством уникальных технологий сварки и наплавки, которые были разработаны и внедрены в разные годы инженерами ОГС.

При решении задачи по сварке толстостенных реакторов инженеры-технологи ОГС в первую очередь стремились минимизировать напряжения, возникающие в

швах в процессе их заварки и тем самым исключить возможные деформации стенок реактора и их растрескивание. Известно, что чем меньше по объему (по габаритам) сварной шов, тем меньше в нем напряжения. Таким образом, задача была решена переходом на технологию сварки в узкощелевую разделку (т.е. стык двух деталей (обечаяек) перед сваркой представляет собой кольцевую щель шириной 20 мм с углом раскрытия кромок около 1°).

Так как видимость сварочной ванны в такой щели ограничена, то данная технология потребовала применения специализированного сварочного оборудования с автоматизированными следящими системами. Сварку в узкощелевую разделку на предприятии начали осваивать еще с 1995 года при изготовлении оборудования для атомных станций. В настоящее время освоены технологии сварки реакторов с толщиной стенки до 350 мм.

Применяемое сварочное оборудование оснащено тактильными оптическими либо бесконтактными лазерными системами слежения за стыком с применением промышленных процессоров (компьютеров). Конечно, на таком оборудовании работают высококвалифицированные сварщики, прошедшие специальное обучение.

Начиная с 2008 года на Ижорских заводах началось освоение сварки толстостенных реакторов для нефтепереработки, изготавливаемых из хроммолибденванадиевой стали. Сверхвысокая прочность данной стали позволяет значительно снизить толщину стенки реакторов для нефтепереработки, а следовательно, их вес и цену без ущерба надежности. Но в то же время применение данной стали выставляет высокие требования к ее сварке, в том числе, по исключению трещин повторного нагрева, к которым склонна эта сталь.

Данная задача успешно решена технологами ОГС. Технология сварки хроммолибденванадиевых сталей представляет собой очень узкий диапазон технологических параметров — как по режимам сварки (сила сварочного тока, напряжение на дуге, ско-

рость сварки), так и по температуре предварительного и сопутствующего подогрева, межваликовой температуре, по раскладке валиков и по режимам послесварочных отпусков.

Кроме того, большую роль в разработке данной уникальной технологии сыграл правильный выбор сочетания сварочных материалов для автоматической сварки под флюсом (проволока + флюс) и умение обращаться с ними в процессе производства. Технологией сварки хроммолибденванадиевых сталей большой толщины (более 200 мм) располагает всего несколько предприятий в мире, а в России — только Ижорские заводы.

Еще одной технологией, которую разработали и внедрили в производство реакторов для нефтепереработки в последнее время инженеры ОГС, является однородная однослойная коррозионностойкая наплавка, выполняемая электрошлаковым способом, взамен двойной двухслойной коррозионностойкой наплавки, выполняемой электродуговым способом.

Мы начали работать над этой технологией в середине 2005 года. В декабре 2008 года внедрили в производство технологию электрошлаковой наплавки лентой шириной 60 мм. В 2011 году внедрили технологию электрошлаковой наплавки лентой шириной 90 мм.

Преимущества налицо — производительность наплавки электрошлаковым способом в 2,5 раза превосходит производительность наплавки дугowym способом; расход ленты для получения необходимого коррозионностойкого слоя при нанесении однородного однослойного покрытия в 1,5 раза меньше, чем при нанесении двойного двухслойного покрытия.

Кроме того, однородная однослойная коррозионностойкая электрошлаковая наплавка обладает повышенной стойкостью к отслаиванию в среде водорода высоких параметров (дисбондинг). Это было дополнительным требованием к наплавке лицензиара наших проектов Chevron Lummus Global. 