

Сварка полимерных труб является финальной стадией технологической цепочки, начинающейся с получения мономеров из углеводородного или возобновляемого сырья. При сварке наиболее важную роль играет квалификация исполнителей. На современном этапе развития отрасли становится ясно, что структура образовательной деятельности должна быть согласована с основными положениями науки, и учитывать степень полноты теорий сварки новейших материалов и конструкций труб. В глобальной практике синтез базовых полимеров используемых в производстве труб осуществляется по многочисленным технологиям, имеющим много принципиальных различия. Например, примерно половина применяемого в России полиэтилена низкого давления с минимальной длительной прочностью $MRS=10\text{МПа}$ (ПЭ 100) выпускается по оригинальной однореакторной технологии на особых катализаторах. Вторая половина ПЭ 100 производится по общепринятой в мире двухреакторной схеме на различных каталитических системах. Производители базовых марок обязаны приводить свою продукцию в соответствие со стандартизованными показателями, которые, однако не в полной мере отражают вариации макромолекулярной структуры. Для производства толстостенных труб производят специальные марки ПЭ 100 слабо стекающие под действием гравитации во время долгого охлаждения трубы. Макромолекулярные характеристики этих материалов имеют свои особенности. Вторым источником особенностей разных марок – процессы компаундирования полимеров. Как известно, в современной практике производства труб базовые марки крупнотоннажных полиолефинов не применяются. В процессе компаундирования в полимеры вводят целевые добавки, призванные улучшить стойкость к погоднo-климатическим факторам, термомеханической и термоокислительной деструкции, а также красители. Поскольку трубные марки полиолефинов отличаются сравнительно высокой молекулярной массой, при их компаундировании возникают большие напряжения. Поэтому в процессе получения товарных материалов, макромолекулярная структура исходного базового материала претерпевает значительные изменения. В зависимости от многих факторов, анализ которых далеко выходит за рамки настоящей статьи, при компаундировании полиэтиленов низкого давления наблюдаются как явления роста, так и значительного падения показателей текучести расплава, отражающие баланс двух трендов – деструкции и сшивки полимеров. При экструзии труб и процессах производства фитингов (литье под давлением, интрузия, прессование и намотка) изменения свойств хорошо стабилизированных полимеров минимальны. Исключения из этого правила – случаи переработки плохо стабилизированных полимеров высокоскоростными режимами. Итак, на последнюю стадию переработки – сварку поступают материалы, характеристики которых варьируют в широком диапазоне. Так Российские нормы допускают для ПЭ 100 изменения показателей текучести

расплава ПТР 5 (190) в диапазоне от 0.1 до 0.5 г/ 10мин. Это означает, что при сварке в одном и том же режиме можно получить показатели размеров валиков отличающиеся в несколько раз. Понятно, что если не учитывать свойства полимера, то в технологию сварки и визуально-измерительный контроль вносится значительный фактор неопределенности. Сварка полимеров применяется в целом ряде промышленных технологий отраслей производства и применения труб. В некоторых случаях это вспомогательные процессы, например приварка пусковых труб к свежему экструдату при пуске трубных линий, присоединение фасонных элементов к гофрированным и витым трубам. При получении витых труб, в частности по технологии фирмы Kraib, сварка становится основным компонентом технологии. Процессы производства сварных фитингов, емкостей и полимерных колодцев по определению основаны на сварке. Однако наибольший объем сварочных работ вынесен на строительные площадки и трассы полимерных трубопроводов различного назначения. Здесь технологию сварки используют многочисленные строительные и ремонтные структуры, персонал, которых должен быть надлежащим образом подготовлен. Поэтому для глобальной образовательной практики характерен огромный объем обучения сварщиков. Только один из многих Европейских учебных центров SKZ, с которым сотрудничают авторы, ежегодно выпускает тысячи квалифицированных сварщиков полимерных труб и изделий. Для Германской нормативной базы и, соответственно, учебных программ, характерно жесткое обозначение границ применимости технологий, и унификация технологий независимо от назначения трубопроводов. Так, например, ПТР 5 (190) для ПЭ 100 разрешены в зауженном диапазоне: от 0.2 до 0.5. Выделен диапазон температуры окружающей среды для сварки: от +5 до +45°C, Максимальная толщина свариваемых труб ограничена величиной 70мм [1]. Внутри границ проведены фундаментальные, в том числе длительные исследования, надежно обосновавшие применение конкретных технологий. Такая система норм позволяет обучать большую массу сварщиков в инструктивном режиме, давая им твердо определенный набор правил работы. Кроме того, с хорошим эффектом, сварщики могут применить автоматизированные машины с установленными стандартными программами сварки. В тех случаях, когда сварку приходится проводить за установленными границами, режим специально определяют эксперты и передают сварщикам, получившим специальную подготовку. В нашей образовательной практике наряду с инструктивной системой всегда присутствовала конструктивная компонента. Конструктивный подход к технологии сварки означает готовность сварщика оптимизировать процедуру и основные параметры процесса принимая во внимание результаты визуально-измерительного контроля (ВИК) и разрушающих механических испытаний пробных, допусковых и контрольных сварных соединений. Для этого сварщик должен обладать надлежащими компетенциями [2] полученными в процессе обучения и повышения

квалификации. Сварочные технологии в России имеют принципиальные особенности. Выше показано, что Российские нормы ПТР для ПЭ 100 шире принятых в глобальной практике. Поскольку практически весь отечественный ПЭ 100 дислоцируется за пределами мировых норм то принятые в мире технологические нормы по сварке некорректно использовать в обучении в качестве обоснованных инструкций. Погодно-климатические условия в различных регионах России далеко выходят за рамки принятые в Германии, что также не позволяет бездумно применять надежно апробированные Германские учебные инструкции. Многочисленные (в отличие от единственных Германских DVS) и противоречивые отечественные нормы по сварке создают неопределенность при составлении образовательных программ.

Международный стандарт по сварке полиэтиленовых труб и фитингов ISO 21307 [3] не поможет в инструктивных обучающих структурах. ISO 21307 содержит три альтернативные процедуры сварки и предусматривает очень широкие диапазоны варьирования параметров сварки и скорее применим для конструктивного обучения. К тому же граница применимости применения ISO 21307 заканчивается на толщине стенки 70 мм. Между тем, два Российских производителя уже экструдировали супербольшие трубы со стенками, превышающими эти нормы. Технология сварки толстостенных труб является предметом многочисленных исследований [4-6]. Результаты этих работ пока не готовы превратятся в инструктивные материалы. Соответствующая новым размерам труб сварочная техника также предъявляет к сварщикам качественно новые требования в части ее правильной эксплуатации и проведения технологического процесса. Таким образом, назрела необходимость структурирования образования в области сварки полимерных труб с учетом новейших достижений полимерной науки, техники и технологии в отрасли производства полимерных труб. Предлагается выделить 3 ступени подготовки сварщиков. Первая ступень предназначена для первичного обучения сварщиков, имеющих общетехническую подготовку. Методика обучения может носить чисто инструктивный характер и опираться на единственный норматив, устанавливающий одну процедуру сварки, достаточно узкие пределы варьирования основных параметров сварки и твердые, достаточно узкие границы применимости технологии, по примеру Германских DVS. Такие границы следует обозначить для основных показателей полимерных материалов, погодных условий, размеров свариваемых заготовок. Проект такого норматива создан авторами и, под названием «Инструкция 1» проходит апробацию. Область работы выпускников курсов первичного применения должна быть ограничена сваркой труб диаметром не более 315мм и остальными границами, обозначенными в «Инструкции 1». На второй ступени сварщики, ранее получившие первичную подготовку и накопившие опыт практической работы, могут пройти повышение квалификации по инструктивной программе на основе

«Инструкции 1» и получить право сваривать трубы и фитинги диаметром до 630мм и толщиной до 70мм. Для третьей ступени обучения сварщиков (специальная подготовка), отсутствуют научно обоснованные инструкции. Поэтому подготовка неизбежно должна носить конструктивный характер. При этом высококвалифицированные преподаватели должны донести до обучающихся актуальные положения специального полимерного материаловедения. Для самостоятельного решения профессиональных задач за границами применимости инструкций сварщикам необходимы знания механики и реологии полимеров, теплотехники, химии термоокислительной деградации, физикохимии и т.п. Кроме того, необходимо научить курсантов применять теоретические положения на практике проведения сварочных работ. Для усвоения необходимых знаний нужна хорошая инженерная подготовка, то есть обучать на третьей ступени следует преимущественно специалистов второго и третьего уровня по классификации НАКС (Национальное агентство контроля сварки). Повышение квалификации сварщиков первого уровня для выполнения конкретных работ за границами применимости надежно обоснованных инструкций возможно в форме мастер-классов, проводимых признанными экспертами в области сварки. В процессе обучения проверяются первичные знания курсанта, его практическая подготовка. Затем проводится отладка технологии сварки. Выбирается подходящая процедура процесса, определяются оптимальные параметры сварки. После визуально-измерительного контроля и механических испытаний, подтверждающих правильность технологии, оформляется технологическая карта для выполнения конкретной работы. Специальная подготовка необходима в следующих случаях. 1. Реологические характеристики сырья, из которого изготовлены трубы, выходят за пределы, допущенные международными и/или авторитетными национальными нормами. 2. Геометрические размеры свариваемых заготовок выходят за пределы, допущенные международными и/или авторитетными национальными нормами. 3. Условия сварки не соответствуют надежно обоснованным нормам. 4. Процедура сварки и ее основные параметры по каким-либо причинам отличаются от обоснованных норм. 5. Конструктивные особенности сварочного оборудования выходят за пределы, допущенные международными и/или авторитетными национальными нормами. По мнению авторов современная ситуация в области сварки требует проведения широкомасштабных исследовательских работ и промышленных экспериментов с целью разработки новых инструктивных документов по сварке полимерных труб