

УДК 678.7.01:621.643.411.4

И.В. Волков, В.И. Кимельблат
I.V. Volkov, V.I. Kimelblat

**РОЛЬ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЭ ПРИ ВЫБОРЕ
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ**
THE ROLE OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PE IN SELECTING
THE MAIN WELDING PARAMETERS

В статье рассмотрены основные параметры сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык. Описано влияние реологических свойств полиэтилена на свариваемость. Показана необходимость оптимизации основных параметров сварки полиэтиленовых труб.

In the article reviewed the basic parameters of welding polyethylene pipes butt welded by heated tool. Described the influence of the rheological properties of polyethylene on weld ability. Indicated the necessity of optimizing the main parameters of welding of polyethylene pipes.

Ключевые слова: Реология полиэтилена, параметры сварки.

Keywords: Rheology of polyethylene, the welding parameters.

Страниц 6

Таблиц 1

Рисунков 2

Количество наименований библиографического списка 9

УДК 678.7.01:621.643.411.4

И.В. Волков, В.И. Кимельблат
I.V. Volkov, V.I. Kimelblat

**РОЛЬ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЭ ПРИ ВЫБОРЕ
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ**
THE ROLE OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PE IN SELECTING
THE MAIN WELDING PARAMETERS

В статье рассмотрены основные параметры сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык. Описано влияние реологических свойств полиэтилена на свариваемость. Показана необходимость оптимизации основных параметров сварки полиэтиленовых труб.

In the article reviewed the basic parameters of welding polyethylene pipes butt welded by heated tool. Described the influence of the rheological properties of polyethylene on weld ability. Indicated the necessity of optimizing the main parameters of welding of polyethylene pipes.

При строительстве полиэтиленовых трубопроводов наиболее широко применяется сварка нагретым инструментом встык, как основной, надежный и экономичный метод соединения полимерных труб различных диаметров.

Объем мирового производства полиэтиленовых труб составляет несколько миллионов тонн в год. Таким образом, сварка полиэтилена является весьма распространенным технологическим процессом. Сварка встык используется как в полевых условиях, на стройплощадках, так и в цехах, при изготовлении сварных фитингов и укрупненных узлов.

Многолетний (с 1981г.) опыт наблюдения за эксплуатацией полиэтиленовых трубопроводов убедил авторов в надежности сварных соединений нагретым инструментом встык. При условии надлежащей квалификации сварщиков, использовании подходящего оборудования и технологии сварки долговечность сварных соединений не уступает долговечности сваренных труб, а в случае напорных трубопроводов может превысить долговечность труб.

Современный этап развития рынка сварки полимеров характеризуется вовлечением в процесс сварки многочисленных неквалифицированных рабочих и специалистов. Поэтому многие руководители приобретают автоматизированные сварочные машины, надеясь таким образом уменьшить роль «человеческого фактора». Эти иллюзии тем более опасны, если сварка ведется по одной универсальной программе, без оптимизации технологии с учетом вариаций реологических свойств свариваемого материала.

В результате наблюдается массовый брак, часть которого выявляется при контроле (рис 1,2), а остальной, не выявленный брак, приведет, вероятно, к преждевременным разрушениям соединений и авариям трубопроводов.



Рис 1. Анализ непровода службой технической диагностики.



Рис.2 Выявление непровода непосредственно при строительстве.

Основные параметры сварки

В процессе сварки, предварительно подготовленные заготовки прижимаются к нагретому инструменту, а затем, после достижения необходимой глубины проплавления материала торцов, нагреватель удаляется, а заготовки соединяются и охлаждаются под давлением.

Основными параметрами сварки являются: T_i – температура нагревателя, P – давление в плоскости сварки по стадиям и τ – длительность каждой стадии сварки. Значения основных параметров, рекомендуемые разными международными, и национальными нормами могут отличаться, отражая разнообразие национальных традиций сварки, которые во многом обусловлены погодными-климатическими условиями сварочных работ в разных странах.

T_i в процессе сварки должна быть практически постоянна. Этот результат достигается выбором достаточной мощности тепловыделяющих элементов, а также использованием адекватных систем терморегулирования. При этом нормы рекомендуют априорно корректировать T_i , учитывая температуру окружающей среды и толщину свариваемых заготовок.

Усилие смыкания заготовок в процессе сварки изменяется следующим образом.

На первой стадии оплавления, называемой выравниванием, в плоскости сварки поддерживается значительное давление P_1 , необходимое для достижения плотного контакта торца заготовки с поверхностью нагревателя.

Величина P_1 не слишком важна для качества сварки, но обычно рекомендуется создавать давление около 0,15 МПа. Завершается первая стадия оплавления после появления первичного валика расплава по всему периметру торца заготовки. Длительность выравнивания обозначим τ_1 .

На второй стадии оплавления, называемой прогревом, в течение времени τ_2 поддерживается сравнительно низкое давление P_2 , необходимое для гарантированного постоянного контакта торца заготовки и нагревателя. Нормативные значения τ_2 зависят от толщины свариваемых заготовок. В отношении априорных значений P_2 в нормах можно обнаружить значительные различия (от 0 до 0,75 МПа). Обсуждение нормативных значений P_2 далеко выходит за рамки данной статьи, отметим лишь, что избыточное давление P_2 увеличивает сварочные напряжения, а недостаточное – часто является причиной несплавов и несплавлений.

По истечении времени τ_2 давление P сбрасывается до 0, заготовки отрывают от нагревателя и извлекают нагреватель. Затем оплавленные заготовки соединяют (осадка стыка), плавно поднимая давление в плоскости сварки до уровня P_3 , обычно равного 0,15 МПа. Здесь уместно отметить, что известны режимы сварки, предусматривающие значительно большие величины P_3 .

Длительность извлечения нагревателя называют технологической паузой ($\tau_{тп}$). Время подъема давления ($\tau_{пд}$) и время охлаждения под давлением (τ_3) также нормируются в зависимости от толщины стенки.

Некоторые традиционные представления о роли реологии полиэтилена при сварке.

Качество сварки определяется теплофизическими, химическими, а также реологическими процессами, протекающими в области сварного соединения. Кинетические закономерности этих процессов и их конечные результаты, естественно, зависят от основных параметров сварки, с одной стороны и свойств полиэтилена, с другой.

В производственной практике, для оценки реологических свойств полиэтиленов обычно используют показатель текучести расплава (ПТР) величина, которого обратно пропорциональна вязкости расплава. ПТР часто используют в качестве переменного

фактора для получения графических зависимостей величины перемещения заготовок в процессе оплавления S и скорости оплавления $V_{оп}$ [1]

Получены также аналитические зависимости толщины расплавленного слоя и скорости перемещения детали при оплавлении от вязкости расплава полимера на границе полимер-нагреватель. [1, 2]

Считают [1], что чем меньше вязкость материала, тем легче он сваривается. При этом следует иметь в виду, что вязкость определяется макромолекулярной структурой полиэтилена, которую целенаправленно создают материаловеды, гармонично сочетая требования надежности изделий и показатели перерабатываемости.

Вязкость расплава зависит также от его температуры по экспоненциальному закону, близкому к уравнению Аррениуса

$$\eta = A \exp(-E_a/RT),$$

где A -константа, E_a - энергия активации, R -газовая постоянная, T -температура °К,

Увеличение температуры расплава с целью снижения вязкости ограничивается недопустимой термоокислительной деструкцией.

Скорость перемещения заготовок при осадке стыка обратно пропорциональна средней вязкости расплава η [1]. Форма грата образующегося после осадки (важный показатель качества сварки) очень чувствительна к реологическим свойствам расплава, в частности к вязкости, оцениваемой по ПТР [2].

Анализируя роль вязкости при осадке К.И.Зайцев[2] отмечает необходимость оптимизации основных параметров сварки с учетом вязкости и развивает реологическую концепцию механизма образования сварных соединений, изложенную ранее в работах Н.Потенте и К.Зеева.

Требования норм к вязкости полиэтиленов

Многочисленные современные экструзионные марки полиэтиленов имеют различные нормативные показатели текучести расплавов.

Так ГОСТы на напорные полиэтиленовые трубы и трубы для газопроводов [3, 4] допускают, при производстве труб, применение полиэтиленов с широким диапазоном варьирования ПТР (см.табл1).

Табл.1 Допускаемый нормами диапазон варьирования ПТР (г./10мин) полиэтиленов разных типов.

Градации ПЭ/ Условия контроля ПТР	ПЭ32	ПЭ63	ПЭ80	ПЭ100
190 °С/ 2,16 кгс	0.2-0.4			
190 °С/ 5 кгс		0.2-1.2	0.3-1.2	0.1-0.5

Таким образом, даже сваривая детали из полиэтилена одной градации нельзя рассчитывать на одинаковую вязкость расплава.

Развитие представлений о реологии расплавов полиэтиленов.

Здесь уместно вспомнить, что ПТР и вязкость следует считать реологическими оценками первого приближения.

Известно, что вязкость полимеров, в отличие от низкомолекулярных веществ зависит от скорости сдвига [5]. Падение η с увеличением скорости сдвига зависит от макромолекулярных характеристик расплава (средней молекулярной массы, молекулярно-массового распределения и разветвленности) [6]. Экструзионные марки полиэтиленов отличаются высокой средней молекулярной массой и очень широким распределением. В процессе термоокислительной деструкции в полиэтиленах низкого давления образуются

разветвленные и сшитые структуры [7]. В результате макромолекулярных реакций меняется структура ПНД и, соответственно, динамика реологических процессов.

Таким образом, ПТР или вязкость расплава, измеренные при единственной скорости сдвига и постоянной температуре, полезны для практики. Однако эти показатели не могут в полной мере характеризовать реологическое поведение полиэтилена при сварке.

Оптимизация основных параметров сварки.

В практике сварочных работ проблема неопределенности реологических характеристик расплава полиэтилена должна решаться опытным путем комплексной корректировки основных параметров сварки в процессе сварки пробных стыков. Отладка технологии сварки должна выполняться до начала основных сварочных работ силами квалифицированных сварщиков, с привлечением специально подготовленных контролеров испытательной лаборатории. Сварку следует производить в условиях подобных условиям основных сварочных работ. Следует использовать машины, обеспечивающие строгое выполнение технологии сварки: поддержание заданных основных и вспомогательных параметров сварки на выбранном уровне. Автоматизация основных этапов сварки не должна препятствовать оптимизации основных параметров с учетом вариации свойств материала труб и деталей, а также погодно-климатических условий сварки.

Методы контроля качества сварных соединений подразделяются на обязательные (основные), проводимые лабораториями строительных организаций, и специальные, которые рекомендуются к использованию специализированными испытательными центрами (в случае необходимости подтверждения результатов обязательных методов, для обоснования специальных технологических приемов, особых технологических параметров для сварки в неблагоприятных условиях, а также других целей).

Пробные стыки, прежде всего, должны соответствовать нормам по показателям внешнего вида и геометрических размеров, грата которые таким образом являются первой группой параметров оптимизации технологии. Эти показатели являются косвенной, но интегральной оценкой реологических свойств расплава полимера непосредственно при сварке.

Дефекты сварных соединений делятся на наружные, определяемые при обязательном внешнем осмотре и обмере, а также внутренние макро и микродефекты. Внутренние дефекты, выявляют после препарирования соединений, в результате анализа комплекса результатов обязательных и специальных испытаний.

Качественные пробные сварные соединения должны с положительными результатами выдерживать испытания на растяжение. Испытания проводят на образцах труб со сварным швом посередине по методикам, утвержденным в установленном порядке. В части техники и технологии проведения испытаний должны соблюдаться требования ГОСТ 11262-80. При испытаниях на осевое растяжение образцов из соединений полиэтиленовых труб, выполненных сваркой НИ встык, выявляется характер разрушения. Признак положительных результатов испытаний – пластический характер разрушения по шву или основному материалу. Признак отрицательных результатов – разрушения «хрупкого» характера с гладкой поверхностью точно по плоскости сварки. По результатам испытаний составляют протокол – заключение о качестве сварных соединений по форме, соответствующей требованиям норм для данной стадии контроля пробных стыков.

В случае отрицательных результатов контроля пробных стыков следует продолжить поиск оптимальных сочетаний параметров сварки, варьируя параметры в пределах допускаемых нормами. Если подобранные параметры сварки оказались за пределами норм, то для их обоснования необходимо применять специальные методы, такие, как оценка показателей длительной прочности.

Процедура оптимизации технологии сварки не вызывает особых проблем при сварке труб небольших диаметров, требуя, впрочем, надлежащей **высокой квалификации персонала**.

Материальные затраты при пробной сварке толстостенных труб больших и супер больших диаметров (в России производятся трубы до Ø 1600мм) оказываются столь значительны, что для ускорения поиска оптимальных режимов сварки целесообразно получение априорной информации по специальным реологическим методикам описанным в [7-9].

Литература:

1. Сварка полимерных материалов: Справочник/К.И.Зайцев, ЛН. Мацюк, А.В. Богдашевский и др ; под общ. Ред. К.И.Зайцев, ЛН. Мацюк.-М.:Машиностроение, 1988.-312 с.
2. Зайцев К.И. сварка пластмасс при сооружении объектов нефтяной и газовой промышленности. - М.: Недра, 1984.-224с.
3. ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия
4. ГОСТ Р 50838–2009 Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технические условия
5. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения/Пер с англ.-СПб.: Профессия, 2007.-560 стр.
6. Бриедис, И.П. Реология и молекулярное строение расплавов полиэтилена. 3 Релаксационные спектры и характерное время релаксации / И.П. Бриедис, Л.А. Файтельсон / Механика полимеров.-1976.-№2. – С.322 – 330.
7. Кимельблат В.И. Релаксационные характеристики расплавов полимеров и их связь со свойствами композиций / В.И. Кимельблат, И.В. Волков// Монография, Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2006. – 188.
8. Малкин А.Я., Применение непрерывного релаксационного спектра при описании вязкоупругих свойств полимеров. // ВМС, серия А, т-48, №1, 2006, с.49-50.
9. Глухов В.В. Развитие методики обработки кривой релаксации давления путем аппроксимации сплайнами// В.В. Глухов, И.В. Волков, В.И. Кимельблат / Вестник Казанского технологического Университета.- Изд-во Казан. гос. технол. ун-та-2010.- №10 – С.125 – 132.с.