

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ТЕРМОРЕЗИСТОРНОЙ СВАРКИ ПЛАСТМАСС: ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ

Качество соединений является важнейшим условием обеспечения работоспособности, надежности и безопасности любого трубопровода. При строительстве газопроводов из полиэтиленовых труб используются два основных метода сварки – стыковая и терморезисторная (муфтовая). Проблемы обеспечения качества электромуфтовых соединений подробно рассмотрены в статье профессора Филиппа Ванспейброка (Philippe Vanspreybroeck) из бельгийского исследовательского центра BECETEL VZW «Evaluation of Electrofusion Welders», посвященной аттестации сварщиков пластмасс. Предлагаем вниманию читателей выдержки из этой статьи.

В лаборатории BECETEL тестируются контрольные образцы учебных центров Фландрии и Брюсселя. Систематический анализ количества разрушений образцов, предоставляемых учебными центрами, BECETEL ведет с 1997 года.

Контрольные образцы оцениваются в соответствии с ISO 13953: «Трубы и фитинги полиэтиленовые. Определение предела прочности на растяжение и вид разрушения испытательных образцов, отобранных из соединения, сваренного встык» (для образцов стыковой сварки) или в соответствии с ISO 13954: «Пластмассовые трубы и фитинги. Испытание на отрыв полиэтиленовых (ПЭ) терморезисторных узлов с номинальным наружным диаметром, большим или равным 90 мм» (для образцов терморезисторной сварки).

Испытание для стыковой сварки считается удовлетворительным, если характер разрушения пластический, в то время как испытание для терморезисторной считается пройденным, если поверхность излома содержит $\leq 25\%$ хрупкого разрушения.

Систематические научные наблюдения показали, что хрупкое разрушение преобладает в процессе

испытаний образцов терморезисторной сварки перед образцами стыковой сварки.

Почему это происходит?

Стыковая сварка выполняется автоматическими или полуавтоматическими аппаратами, при этом влияние сварщика при снятии оксидного слоя, зачистке и позиционировании трубы минимально. Процент разрушений образцов (в год их испытывается около 600) составляет менее 0,5%. Разрушения образцов происходят в основном вследствие несоосности труб при сварке и загрязнения свариваемых поверхностей (контакт со смазкой, некачественная очистка свариваемых поверхностей).

Анализ факторов, определяющих качество терморезисторной сварки, проводился по следующим вопросам:

- В какой мере качество сварки зависит от степени квалификации сварщика?
- Влияет ли качество терморезисторной муфты на охрупчивание полиэтилена во время испытания на отрыв?

- Что является причиной высокого процента разрушений образцов во время испытания на отдир?

Статистика показала, что сварщики из коммунальных служб, а особенно из газовых компаний, владеют техникой сварки значительно лучше, чем сварщики строительных компаний, в особенности частных. Это обусловлено отношением к обучению и ответственностью первых.

Также статистика демонстрирует, что процент хрупкого разрушения при испытаниях практически одинаков для всех учебных центров.

В учебных центрах используются муфты трех марок: GF+, Frialen и Geco.

Анализ показал, что процент хрупкого разрушения всех трех марок терморезисторных муфт одинаков. Это говорит о том, что причиной высокого процента хрупкого разрушения образцов во время испытания на отдир является не качество муфты, а именно процедура сварки и/или работа сварщика. Для этого были проанализированы такие процедуры подготовки терморезисторного образца (при сварке муфт, седловых отводов и пр.), как глубина и равномерность снятия оксидного слоя, обезжиривание и т.д. Кроме того, поверхность хрупких разрушений была тщательно изучена с помощью микроскопа и инфракрасного анализа.

Отметим, что в большинстве случаев целостность этих узлов не подвергается сильному сомнению, так как во время испытания на стойкость при постоянном внутреннем давлении при температуре 80°C, начальном напряжении 5 МПа в течение 1000 часов на муфтах из ПЭ 100 разрушения не наблюдались. Только в некоторых случаях в процессе испытаний под давлением было обнаружено несколько течей муфты в зоне плавления.

Необходимо отметить также, что максимально допустимый критерий «≤25% хрупкого разрушения поверхности излома» является надежным инструментом и имеет достаточный уровень достоверности. Кроме того, усилие при испытании на отдир направлено перпендикулярно к оси трубы, чего на практике не встречается. В эксплуатационных усло-



Рис. 1. Трещина в трубе во время испытания на отдир. Образец классифицирован, как вязкий



Рис. 2. Вязкая поверхность после испытания на отдир



Рис. 3. Образцы вязкой поверхности после испытания на отдир

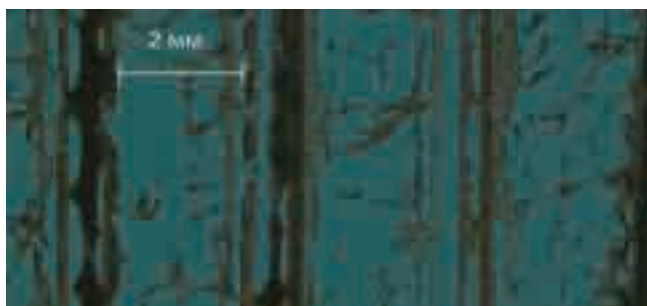


Рис. 4. Образцы 100%-го хрупкого разрушения поверхности после испытания на отдир

виях происходит только изгиб и растяжение, что является менее серьезным фактором, нежели отдир.

Тем не менее, испытание на отдир является хорошим механизмом оценки мастерства сварщиков и проверки правильности процедуры сварки (рис. 1-4).

Из 2203 испытанных образцов терморезисторной сварки было выявлено 650 образцов, содержащих хрупкие разрушения, что соответствует уровню разрушения образцов 26,6%.

Главными причинами хрупких разрушений были определены:

а) при зачистке трубы ручным скребком (576 хрупких разрушений):

- недостаточное снятие оксидного слоя – от 0,05 мм до 0,010 мм;
- неравномерное снятие оксидного слоя: глубина зачистки колеблется от 0 мм до 0,07 мм (рис. 5);
- плохая зачистка перед сваркой (наличие кожного жира от рук и пр.);
- избыточная глубина снятия оксидного слоя (рис. 6);

б) при зачистке трубы вращающейся циклей (74 хрупких разрушения):

- плохая зачистка перед сваркой (наличие жира от рук и пр.);
- избыточная глубина снятия оксидного слоя трубы.

К второстепенным причинам хрупких разрушений можно отнести:

- плохое закрепление труб/оборудования;
- наличие обезжиривателя, который не испарился на момент сварки с поверхности трубы или фитинга (рис. 7);
- неисправность сварочного аппарата;
- прерывание цикла сварки оператором.

Кроме того, инфракрасный анализ поверхностей с хрупкими разрушениями показал во многих случаях наличие гидроксильных групп ($-OH$) и альдегидов ($-C=O$) (рис. 8). Это связано с окислением поверхности и, возможно, с остаточным загрязнением жиром (жирные руки, пот).

Обычно поверхность ПЭ трубы после снятия оксидного слоя обезжиривается с помощью спирта или подобного вещества. Более эффективные чистящие средства, такие, как МЭК (метилэтилкетон), запрещены медиками как небезопасные для здоровья человека.

При многократном использовании протирочных тканей на них остаются кожный жир и/или другие жиры, т.е. применение таких тканей скорее загрязняет поверхность ПЭ трубы, чем очищает ее. Жирный налет остается на поверхности и становится причиной хрупкого разрушения во время испытания на отдир.

В последнее время учебные центры рекомендовали новые правила очистки. Процедура очистки повторяется пять раз с помощью пяти разных новых



Рис. 5. Образец неравномерного снятия оксидного слоя (с образованием граней)



Рис. 6. Образец избыточного снятия оксидного слоя (большой зазор)



Рис. 7. Образец избыточного снятия оксидного слоя (большие зазоры) наряду с избыточным обезжириванием (отверстия на уровне проводов).

видов тканей. Из 758 испытанных сваренных терморезисторной сваркой узлов 80 имели хрупкое разрушение, что соответствует уровню в 10,6% по сравнению с 26,6%. Это значительно лучший результат, но будет ли это выполняться в эксплуатационных условиях?

В некоторых случаях, особенно если поверхность очищена неравномерно, между поверхностью трубы и фитингом может остаться воздушный зазор. При нагревании электрических проводов до 300–400°C могут протекать сложные химические реакции, при которых поверхность трубы окисляется (антиоксиданты поглощаются, термостабильность полиэтиленовых труб при 400°C составляет только 0,4 мин.) (рис. 9) с образованием гидроксидов, альдегидов и т. д. Поскольку во время сварки полиэтиленовая труба плавится, образующийся оксид может легко попасть в ПЭ (все кристаллиты расплавлены) и вызвать дополнительные реакции на глубине от 10 до 20 мкм и более.



Рис. 8. ИК-тесты поверхности

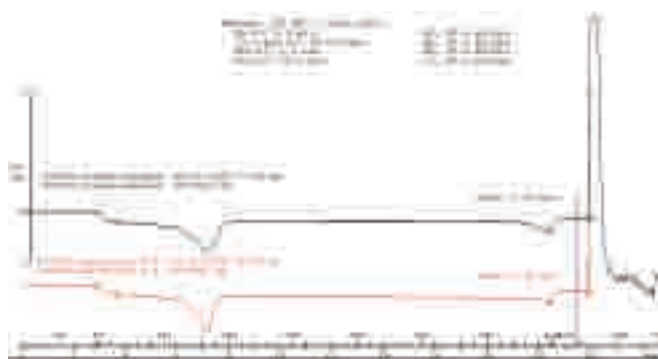


Рис. 9. Термостабильность ПЭ труб при 400°С

Все эти явления так или иначе являются причиной хрупких разрушений, которые наблюдаются во время испытания на отдир.

Испытания в эксплуатационных условиях

Испытания в эксплуатационных условиях в разных странах показали, что после снятия оксидного слоя, выполненного с соблюдением инструкций, нет необходимости в процедуре очистки и обезжиривания с помощью протирки. В старых предписаниях компании British Gas говорится: «Протирка – это яд для сварки».

Нужно заметить, что эти процедуры являются действенными, только если во время сварочного цикла поверхности не загрязнены (к ним запрещено прикасаться руками). В противном случае требуется обезжиривание.

Эти процедуры дают хотя бы теоретически возможность избежать систематического загрязнения поверхностей, очищая их после снятия оксидного слоя.

Лабораторные испытания

В лаборатории BECETEL были проведены несколько экспериментов, чтобы продемонстрировать зависимость качества сварки от глубины снятия оксидного слоя, обезжиривания, применения ручных скребков и вращающихся циклей.

Хрупкое разрушение при испытаниях на отдир наблюдалось в следующих случаях:

- если поверхность трубы после снятия оксидного слоя была загрязнена вазелином или маслом и не был использован обезжириватель;
- если оксидный слой с поверхности трубы снят не был или был снят частично (с помощью наждачной бумаги).

Зоны, на которых не был снят оксидный слой, всегда демонстрируют хрупкое разрушение во время испытания на отдир.

ВЫВОДЫ

Анализ бракованных стыков, выполненных сварщиками, и дополнительные испытания, проведенные в лаборатории BECETEL на терморезисторных муфтах, позволили сделать следующие выводы.

Для образцов, на которых снятие оксидного слоя осуществлялось ручным скребком:

- поверхности труб, которые не имеют, имеют недостаточную или чрезмерную по сравнению с нормальной глубину снятия оксидного слоя, даже в обезжиренном состоянии, наблюдается хрупкое разрушение в процессе испытания на отдир;

- поверхности труб, которые не были тщательно очищены, демонстрируют, главным образом, хрупкое разрушение в процессе испытания на отдир. В частности, появление хрупкого разрушения обусловлено наличием жира (кожного) на поверхности трубы;

- очень важным фактором являются уровень подготовки сварщиков.

Для образцов, на которых снятие оксидного слоя осуществлялось вращающейся циклей:

- поверхности трубы, которые не подверглись, подверглись недостаточно или подверглись несколько раз снятию оксидного слоя, даже в обезжиренном состоянии демонстрируют хрупкое разрушение в процессе испытания на отдир;

- поверхности трубы, которые не были тщательно очищены, демонстрируют, главным образом, хрупкий разрыв в процессе испытания на отдир. В частности, наличие жира (кожного) на поверхности трубы влечет появление хрупких разрушений.

Литература

1. DVS 2207-1: «Испытание сварных соединений термопластичных листов и труб. Методы испытания – Требования – версия сентябрь 2005 г.».
2. ISO 12176-4: «Трубы и фитинги пластмассовые. Оборудование для сварки полиэтиленовых труб. Часть 4. Маркировка. Клеймение».
3. ISO 13953: «Трубы и фитинги полиэтиленовые. Определение предела прочности на растяжение и вид разрушения контрольных образцов, отобранных из соединений, сваренных встык».
4. ISO 13954: «Пластмассовые трубы и фитинги. Испытание на отдир полиэтиленовых (ПЭ) терморезисторных узлов с номинальным наружным диаметром, большим или равным 90 мм».