

**НАДЕЖНОСТЬ СВАРНЫХ МОНТАЖНЫХ СТЫКОВ  
ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Ажермачёв С.Г., к.т.н., доцент, Панченко Н.В., к.т.н., доцент**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Симферополь, Украина*

**Постановка проблемы.** Нефть и газ в энергетических ресурсах промышленно развитых стран занимают особое место. В Украине собственная добыча нефти началась более ста лет назад, а несколько десятков лет ведется добыча и природного газа. Основные добывающие месторождения расположены в материковой зоне, имеют малые запасы и постепенно истощаются. Разработанная Кабинетом Министров Украины программа «Стратегия развития нефтегазовой промышленности» предусматривает к 2030 г. довести собственную добычу до 90% потребных объемов, в основном, за счет увеличения разведочных работ на Азово-Черноморском шельфе, где геологи Украины прогнозируют значительные запасы углеводородов.

Для обеспечения эксплуатации морских месторождений необходимы специальные морские гидротехнические сооружения – морские платформы и системы морских трубопроводов, укладываемых на морское дно, для транспортировки углеводородов.

Главной проблемой при строительстве морских трубопроводов, является обеспечение их надежности на протяжении заданного срока эксплуатации.

**Анализ основных исследований и публикаций.** Известно, что в 1963 г. на одном месторождении в Мексиканском заливе произошло разрушение трубопровода, изготовленного из спокойной стали, транспортирующего природный газ, содержащий не свыше 8,7%  $\text{CO}_2$  и не свыше 1%  $\text{H}_2\text{S}$ . Трубы имели диаметр 406 мм и толщину стенок 8,76 мм. После продольной дуговой сварки трубы термообработывали. Через несколько месяцев эксплуатации под давлением 4,5 МПа трубы подверглись интенсивному разрушению – растрескиванию. Проведенными исследованиями было выявлено в стали содержание большого количества сульфидов марганца, силикатов и наличие водородных пузырей. В тоже время, бесшовные трубы не подвергались коррозионному растрескиванию в течение 10 лет в тех же условиях эксплуатации. В

1974г. в Аравийском море было зафиксировано три случая разрушения труб диаметром 610 мм с толщиной стенки 6,35 мм со спиральным сварным швом. По трубопроводу транспортировался природный кислый газ. Разрушение произошло за 4-6 недель эксплуатации. Проведенными исследованиями в стали обнаружили большое количество газовых пузырей и трещин на протяжении более чем 10км трубопровода, общей длиной 90км. Все разрушения находились вблизи сварных швов. Разрушению подверглись не только донные, но и боковые поверхности труб [1, 2, 3].

Подобные разрушения позднее наблюдались в трубах на шельфах Северного моря, Ирана и западной Канады.

**Основная часть.** Разведку и добычу углеводородов на континентальных шельфах морей ведет около ста стран в мире. Объем добычи углеводородов из морских месторождений в настоящее время составляет примерно 30% от общей мировой добычи. Протяженность транспортных трубопроводов составляет от нескольких десятков километров и до нескольких сотен и даже тысяч километров, как, например, «Северный поток» (от Штокмановского месторождения в Баренцевом море через Балтийское море до Германии) или «Южный поток» (от России через Черное море до Болгарии).

Процесс водородного охрупчивания металла, чаще всего происходит под воздействием  $H_2S$ , а коррозионному разрушению, способствуют засорение металла шва и околошовной зоны, окислами сульфидами, силикатами и т.п. Заметное влияние на скорость коррозии оказывают участки металла с различным электрическим потенциалом. Это особенно часто встречается при ручной сварке. В результате образуется электропара, приводящая в зоне контакта к интенсивной коррозии (электрокоррозии).

Для предотвращения такого дефекта, при выборе сварочного материала необходимо, чтобы он имел одинаковый химсостав с основным металлом труб. При этом, технологический процесс сварки при образовании монтажного сварного соединения, не изменял химсостав металла шва и околошовной зоны.

Известно, что склонность стали к растрескиванию возрастает с повышением парциального давления сероводорода. Особенно опасны среды, в которых одновременно присутствуют  $H_2S$  и  $CO_2$ . Растрескиванию могут подвергаться как обычные малоуглеродистые стали, так и низколегированные и высокопрочные. Можно предположить, что приложение извне усилий, вызывающих растяжение, приводит к объединению продольных внутренних микротрещин (которые всегда присутствуют) в макротрещину, которая вызывает хрупкое разрушение.

При напряжениях растяжения меньше предела текучести, сероводородные пузыри располагаются друг от друга на расстоянии 100-200 мкм. При напряжениях порядка  $0,7\sigma_T$ , расстояние между водородными пузырями уменьшается и сталь начинает становиться более хрупкой, происходит объединение трещин, образуются полоски скольжения, переходящие в хрупкие трещины.

Как отмечено выше, водородное охрупчивание характерно для трубопроводов, транспортирующих газ с наличием сероводорода. Однако для условий шельфа Черного моря, проблема охрупчивания стали обостряется, т.к. воды Черного моря содержат значительный объем этого газа, а с глубиной его концентрация увеличивается. Поэтому, для трубопроводов, предназначенных для транспортировки природных газов от месторождений, необходимо предусматривать защиту их от внешних агрессивных воздействий окружающей среды, особенно для сварных швов и околошовной зоны, где вероятность появления коррозии и охрупчивания металла очень велика.

Кроме того, надежность трубопроводов для транспортировки углеводородов зависит от условий их эксплуатации. Трубопроводы, уложенные на морское дно, постоянно подвержены морским течениям, штормовым волнам и т.п. Расчетная схема их работы может меняться. При размыве грунта образуются провисания, а морские течения вызывают динамические воздействия, которые могут привести к усталостным разрушениям, в первую очередь, в зонах сварных швов [4, 5].

На провисающих участках возникают три вида напряжений:

- статические осевые и изгибные напряжения, зависящие от геометрии провисающего участка;
- динамические напряжения от волновой нагрузки;
- динамические нагрузки от вихревых образований.

Необходимо иметь в виду, что процесс вихреобразования на провисающем участке при незначительном расстоянии (зазоре) между трубопроводом и дном моря отличается от вихреобразования для трубопровода при свободном потоке.

Существенное влияние на амплитуду колебаний трубопровода оказывает демпфирующее влияние грунта морского дна.

Для определения сопротивления трубопровода разрушению учитываются дефекты сварки, которые могут явиться исходными для хрупкого излома или последующего образования трещин. В зависимости от этих факторов устанавливаются критерии сопротивления сварного соединения хрупкому разрушению.

Если известны и правильно определены все исходные параметры, можно определить время надежной работы трубопровода. Однако мно-

гие параметры, определяющие воздействие на трубопровод и его сопротивление, определить сложно. В таких случаях для определения надежности труб и их сварных соединений целесообразно применять вероятностные методы расчета, когда каждый сомнительный параметр определяется статистическим распределением [6].

В зарубежной практике, все более широкое применение находит контактная сварка морских трубопроводов для транспортировки углеводородов. Этот способ обладает следующими преимуществами:

- однородность металла шва и околошовной зоны;
- полная автоматизация процессов и отсутствие необходимости их регулировки оператором;
- независимость от состояния погоды (может применяться даже в арктических районах);
- качество сварных стыков достаточно высокое;
- требуется только одна станция для сварки.

Но, пожалуй, самым главным преимуществом контактной сварки применительно к морским трубопроводам является ее высокая производительность. Контактная сварка труб диаметром до 1020 мм на 50% более производительна по сравнению с полуавтоматической сваркой и позволяет за смену выполнять 200-300 стыков. Такая производительность позволяет сокращать время на укладку трубопроводов в любых климатических условиях и снижает соответственно затраты на строительство.

Контактная сварка представляет собой сварку встык оплавлением, при которой свариваемые концы труб зажимаются контактными щекими, нагреваемыми электротоком, и соединяются под давлением [7]. При сварке морских трубопроводов две трубы зажимают специальными щекими, которые имеют систему охлаждения водой, и медленно перемещают в продольном направлении навстречу друг другу. Однофазный переменный ток низкого напряжения подается к контактам обжимающих щек. В результате торцы труб разогреваются до температуры 2500-2800°C и более. После определенного времени, зависящего от размеров соединяемых труб, к ним прикладывается осевое усилие, под воздействием которого образуется сварной шов и одновременно удаляется лишний жидкий металл, а также окислы и включения. При этом сварное соединение формируется из металла соединяемых элементов и отсутствует посторонний металл с другим химическим составом. Сварное соединение получается более однородно, не возникают электропары, которые могут вызвать электрокоррозию, тем самым значительно повышается надежность и долговечность морских трубопроводов.

Особенностью рассматриваемого способа сварки является то, что при подготовке кромок под сварку фаски скашиваются под углом 7-10° вместо обычных 30°. Этим обеспечивается экономия металла и сокращается время сварки.

После установки секции трубопровода и его центровки оператор закрепляет обжимающие щеки и проверяет готовность сварочной линии к работе. Включается контрольная система и начинается процесс сварки, при этом работа сварочного агрегата контролируется ЭВМ с выводом информации на экран и записывающее устройство. При аномальных отклонениях работы сварочного агрегата и параметров сварки оператор может закончить сварку вручную или использовать контрольную автоматическую систему.

Контроль качества сварки с фиксированием параметров существенно сокращает время сварочного процесса и значительно повышает качество и надежность сварного соединения по сравнению с обычными способами контроля. Разработанный способ сварки стыков морских трубопроводов позволяет оперативно обнаруживать и устранять дефекты сварного соединения.

Гарт, превышающий 1,6 мм, автоматически удаляется специальными устройствами. Размер гарта фиксируют датчики, установленные в сварочном агрегате.

После удаления гарта производится термообработка сварного шва и околосшовной зоны. Для этого при помощи индукционных катушек зона сварки нагревается до температуры 900°С с последующим воздушным охлаждением. Температурный процесс термообработки автоматически контролируется термодатчиками с выводом информации на ЭВМ.

Полученные, в процессе сварки, параметры не должны отличаться от заданных более чем на  $\pm 10\%$ . Неметаллические включения могут появиться в результате недостаточного времени оплавления; поры в шве могут быть следствием недостаточной величины сжимающих усилий в момент сварки торцов труб; недостаточное оплавление может быть результатом неотрегулированной скорости совмещения стыков. Однако параметры сварки управляемы и могут весьма точно контролироваться современными контрольными системами. В результате может быть создан оптимальный режим сварочного процесса.

### ***Выводы***

1. Для трубопроводов, транспортирующих газ с наличием сероводорода в условиях шельфа Черного моря, необходимо предусматривать

защиту их от внешних агрессивных воздействий окружающей среды, особенно для сварных швов и околосшовной зоны, где вероятность появления коррозии и охрупчивания металла очень велика.

2. Увеличение объемов добычи углеводородов и транспортировки их на материк потребует строительства большого объема подводных трубопроводов. При их монтаже следует применять контактную сварку которая обладает многими преимуществами.

3. Учитывая особые условия Азово-Черноморского шельфа, более тщательное внимание необходимо обратить на надежность сварных монтажных соединений труб.

### **Summary**

Questions of reliability of welded connections in the presence of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S are considered. Influence of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S on durability of welded connections is shown. Recommendations which allow to increase reliability of welded joints of pipes are made.

### *Литература*

1. Biefer G.J. The stepwise cracking of line-pipe steels in sour environments. // "Mater., Perform." 21. №6. 1982. – pp.19-24.

2. Pircher H., Sussek G. Hydrogen-induced stress corrosion cracking of welded structured steels. // "Metal Corros". Vol.1. Frankfurt/M. 1981. – pp.1453-1458.

3. Charbonnier I., Margot-Marette H., Truchon M. // "Metal Corros". Vol.1. Frankfurt/M. 1981. – pp.1315-1320.

4. Cigada A., D'Ambrosio M., Pastore T., Pedefferri P. Fatigue behavior in sea water of an offshore steel in the presence of sharp defects. // Fifth Int. Offshore Mech. and Arctic Eng. Symp. Vol. 11. Tokyo. 1986. – pp. 257-267.

5. Larsen E.N., Skjong P., Madsen H.O. Assessment of pipeline reliability under the existence of scour-induced free spans. // Proc. 18<sup>th</sup> Annu. Offshore Technol. Conf. Houston. Tex. Vol.4. Richardson. 1986. – pp. 475-482.

6. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. // Полтава, ООО «АСМИ», 2009. – 452 с.

7. Николаев Г.А., Виноградов В.А. Сварные конструкции. // М., Высшая школа, 1990. – 446 с.