

производства полимерного материала и заканчивая контролем качества газопровода в процессе эксплуатации). Учет каждого параметра является основой для последующего моделирования аварийных ситуаций.

### Список литературы:

1. Plastics Pipe Institute. Handbook of Polyethylene Pipe, 2nd Edition, 2008.
2. Фаттахов М.М. Применение труб из термопластов при строительстве и реконструкции распределительных трубопроводов// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. – 1-14 с.
3. Кимельблат В.И., Вольфсон С.И., Чеботарева И.Г. Прогнозирование эксплуатационных качеств экструзионного полиэтилена низкого давления по реологическим характеристикам. – Механика композитных материалов № 4, 1996. – с.558-663.
4. Отличие полиэтилена ПЭ 80 от ПЭ 100 [Электронный ресурс]: АОС – Универсальный поставщик стальных и пластиковых труб. – Режим доступа: <http://aosgk.ru>, свободный.
5. УК «Группа Полипластик» [Электронный ресурс]: Трубы из полиэтилена. – Презентация PDF. – Режим доступа: <http://raps.ru/sites/default/files/spetsialistu>, свободный.
6. Крис О'Коннор. Полиэтиленовые трубопроводы: как избежать дефектов сварки? // Газ России. 2012. – №3. – 48-58с.
7. ГОСТ Р 50838-2009 (ИСО 4437:2007). Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технологические условия. – [б.и.], 2009. – 58с.
8. Свод правил по проектированию и строительству: СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. – [б.и.], 2003. – 91с.
9. ГОСТ 27.002 – 2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 28с.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО ШВА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СКЛОННОСТЬЮ К ОБРАЗОВАНИЮ СТРЕСС – КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН

*М. Н. Назарова, доцент кафедры ТХНГ,  
В. В. Понкратова, студентка гр. ГРП-14-2,  
Санкт-Петербургский горный университет,  
199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия Васильевского острова, 2,  
Тел. 8-911-081-6892*

E-mail: [ponkratova\\_lera@mail.ru](mailto:ponkratova_lera@mail.ru)

### 1. Введение

Механические свойства сварного соединения зависят от его структуры, определяемой химическим составом, видом сварки и режимом термообработки. В большинстве случаев при авариях на газопроводах металл труб в месте разрушения имеет отклонение по химическому составу. Разные химические элементы могут как положительно, так и отрицательно воздействовать на формирование структуры сварного шва. Количественные связи между отклонениями по химическому составу

и их воздействием на процессы развития стресс-коррозии, в том числе в сварных швах, до сих пор не установлены. Далее представлен механизм влияния химических элементов на свойства сварного шва и его устойчивость к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН).

## **2. Влияние легирующих элементов на свойства сварного шва**

Легирующие элементы, упрочняя металл, вызывают снижение его пластичности и являются одной из причин появления хрупкой составляющей в изломе. Снижение пластичности сталей происходит за счет появления посторонних атомов в решетке растворителя. Это приводит к большей вероятности возникновения трещины в зонах с повышенной концентрацией напряжений при наличии примесей, по сравнению с чистым металлом.

Наиболее эффективным способом предотвращения восприимчивости аустенитных сталей к коррозии при воздействии сварочного термического цикла является снижение содержания углерода до уровня, близкого к пределу стабильной растворимости его в твердом растворе аустенита при комнатной температуре.

Азот в металле образует нитриды  $Fe_2N$ ,  $Fe_3N$ , которые повышают прочность и твердость металла шва, но снижают его пластичность. А чем менее пластичен металл, тем больше вероятность, что при превышении критического значения напряжения, начнется рост стресс-коррозионных трещин. Содержание углерода и азота должно быть в трубных сталях минимальным, так как эти элементы оказывают значительное влияние на температуру перехода механизма разрушения - от вязкого к хрупкому.

Титан, молибден, ниобий и ванадий оказывают значительное влияние на сопротивление коррозионному растрескиванию, так как они связывают углерод и азот в соединения, нерастворимые в  $\alpha$ - и  $\gamma$ - железе.

Фосфор придает металлу хладноломкость, т.е. снижение прочности и пластичности при низких температурах эксплуатации конструкции, а также способствует образованию холодных трещин в шве. С увеличением содержания фосфора понижается сопротивление стали коррозионному растрескиванию, увеличивается интенсивность наводороживания.

Сера придает металлу красноломкость, т.е. снижение прочности и явления ползучести при высоких температурах эксплуатации конструкции, а также способствует появлению горячих трещин в шве. Это объясняется тем, что сера образует с железом сернистое железо  $Fe_2S$ , имеющее температуру плавления 1193 °С, меньшую, чем у железа 1539 °С. Оно расплавляется по границам кристаллитов и при высокой температуре плавится в первую очередь.

Кремний повышает предел прочности и текучести стали, а также может повышать устойчивость сорбитных структур против отпуска. Он также вызывает довольно сильное охрупчивание при увеличении его содержания свыше экспериментально установленного диапазона для малоуглеродистых сталей. Кремний затрудняет релаксацию напряжений в местах их концентрации [1].

Хром относится к самопассивирующимся материалам. Вследствие пассивации хрома на поверхности сплава образуется пассивная пленка – защитный слой. Этот слой значительно повышает коррозионную стойкость сплава [2].

Установлено, что добавки кремния, никеля, ванадия и алюминия к железу вызывают значительное увеличение скорости деформационного упрочнения, при этом сопротивление распространению трещины уменьшается [1].

Под влиянием легирования молибденом, даже при сравнительно незначительных его количествах (примерно 0,5%), существенно возрастает кратковременная и длительная прочность стали при повышенных температурах. Добавки молибдена способствуют измельчению зерна сталей, повышают упрочняемость сталей термической обработкой, увеличивают усталостную прочность сталей. Легированные стали с содержанием молибдена 0,20-0,40 % или такое же количество ванадия замедляют возникновение отпускной хрупкости, но не устраняют ее полностью. Молибден повышает коррозионную стойкость сталей.

При введении в сталь всего 0,15—0,25% ванадия, резко повышается прочность, вязкость, сопротивление усталости и износоустойчивость металла. Небольшие его добавки способствуют повышению предела текучести стали и увеличению отношения предела текучести к пределу прочности.

Добавки хрома, никеля и молибдена в количестве от 2 до 6% повышают стойкость сталей к интеркристаллитному растрескиванию [3].

С увеличением содержания марганца сопротивление стали КРН понижается. Марганец способен удержать около себя атомы азота в объеме кристалла, из-за чего на дислокациях, которые расположены на границах зерен, собирается углерод, что может понижать сопротивление высокопрочной стали к растрескиванию. Также марганец в металле шва нейтрализует вредное влияние серы, образуя сульфид марганца (MnS). С увеличением содержания марганца склонность металла к образованию трещин при повышении содержания серы (до определенного уровня) не возрастает. Марганец повышает сопротивление сталей как вязкому, так и хрупкому разрушению. Однако в сталях с низким содержанием марганца менее 1 % при значительной пластической деформации наблюдается образование микротрещин. Влияние марганца как легирующего элемента в трубных сталях хорошо иллюстрируется отношением количества марганца к количеству углерода: вязкость малоуглеродистой стали увеличивается с ростом этого отношения [1].

### **Заключение**

Одни химические элементы, такие как углерод, азот, фосфор, сера способствуют снижению пластичности металлов и развитию стресс-коррозионных трещин. Другие же, марганец, хром, молибден, ванадий, никель, наоборот, повышают стойкость сталей к КРН. Некоторые, например, кремний, при различных концентрациях оказывают как полезное, так и вредное воздействие на развитие стресс-коррозионных трещин. Важный аспект борьбы с коррозионным растрескиванием как в сварных швах, так и в основном металле – правильный подбор химического состава сталей, т.е. соблюдение оптимального соотношения легирующих элементов

### **Список литературы:**

1. Акбашев Р.М., Ткаченко Д.А., Курдюмов Н.И. Повышение эффективности экспертизы промышленной безопасности трубопроводов путем использования взаимосвязи свойств металла и его склонности к разрушению по механизму стресс-коррозии// Достижения науки и образования, 2016. – № 3(4). – С. 9–12.
2. Кривоносова Е.А., Акулова С.Н., Мышкина А.В. К проблеме коррозионного разрушения сварных швов// Вестник ПНИПУ, 2017. –№3. – Т.19. – С. 114–137.
3. Онацкий В.Л. Совершенствование методов предупреждения развития коррозионного растрескивания под напряжением на магистральных газопроводах//

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 2017. – С. 1–118.

## РАЗРАБОТКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОГОЗВЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*П.Г. Михайлов, д.т.н., профессор - научный руководитель,  
М. Златогорский – магистрант, Ю. Клейменов – магистрант, А. Верева –  
магистрант, А. Усачев – магистрант.*

*Пензенский филиал МГУТУ им. К. Г. Разумовского, г. Пенза*

*Тел. 89273788810*

*E-mail: pit\_mix@mail.ru*

При разработке метрологических моделей датчиков физических величин (ДФВ), используемых в системах автоматизации машиностроения, следует учитывать не только вклад отдельных узлов и блоков в общую погрешность преобразования, но и иметь возможность управления метрологическими характеристиками для повышения информативности всего измерительного канала [1, 2]. Как правило, хотя основную долю в общей погрешности преобразования ДФВ вносит ЧЭ и измерительный модуль, некоторые узлы датчика также вносят в общую погрешность свою долю. Это особенно заметно при экстремальных условиях работы датчиков [3]. Кроме того, и сами измерительные модули могут иметь сложную конструктивную структуру, включающую несколько преобразователей или функциональных узлов включенных последовательно (рис. 1). При этом и ЧЭ могут содержать несколько сенсорных элементов и структур, объединенных конструктивно и функционально [4]. В любом из перечисленных случаев, дополнительные узлы и преобразователи, участвующие в процессе приема, преобразования и выдачи измерительной информации, вносят свою, индивидуальную погрешность в общую погрешность преобразования измерительного канала [1].

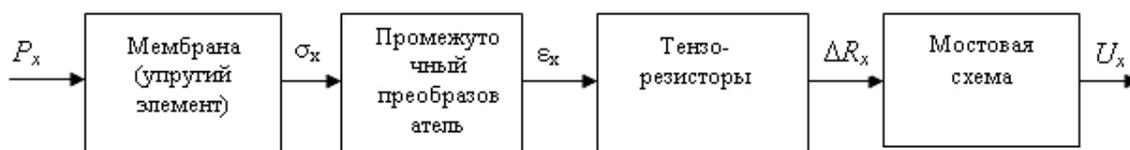


Рис. 1. Структурно-функциональная модель тензорезисторного датчика давления

Анализ как отдельных, так и общих погрешностей многозвенных измерительных структур удобно и наглядно проводить, используя совмещенную модель, на которой приведены структурные блоки и их функции преобразования (рис. 2) [5]. В результате учета и суммирования погрешностей отдельных звеньев измерительной цепи получают метрологическую модель всего измерительного преобразователя.

Таким образом, метрологическая модель (МТМ) датчика, являющейся разновидностью математических моделей (ММ), строится с использованием аппарата метрологического анализа и основывается на структурной и функциональной моделях датчика. МТМ позволяет установить связи между погрешностями датчика в целом и погрешностями его отдельных компонентов [6].