

РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

П. О. Журавлев, Е. В. Плаксина

Воронежский государственный технический университет

П. О. Журавлев, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: juravlev.pav@yandex.ru

Е. В. Плаксина, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г. Воронеж, тел.: +7(950)7602631, e-mail: elena.plaksina2013@yandex.ru

Постановка задачи. Рассмотреть основные принципы изучения строения и решающих свойств металлов и сплавов методами разрушающего контроля при исследовании трубопроводов. Определить параметры, влияющие на свойства металлов и образование дефектов трубопроводов. Установить оборудование, используемое при конкретном методе контроля.

Результаты. Проанализированы основные методы разрушающего контроля, используемые для обнаружения дефектов трубопроводов.

Выводы. В результате проведенных исследований установлены ключевые достоинства и недостатки основных методов разрушающего контроля, а также сформулированы некоторые рекомендации по выбору наиболее эффективного метода, который позволит с большей точностью установить имеющиеся в трубопроводе дефекты.

Ключевые слова: метод разрушающего контроля, трубопроводы, испытания, дефекты, металл, сплав.

Введение. Стальные трубопроводы, обеспечивающие потребителя газом, горячей и холодной водой, подвержены различного вида неблагоприятным воздействиям: нагрузкам от собственного веса труб, давления грунта и грунтовой воды, веса транспортируемой среды, внутреннего избыточного давления, давления от транспортных нагрузок, а также температурных воздействий.

В местах сварного соединения вероятность повреждения трубопровода и нарушение его герметичности возрастает [1]. Несоответствие сварных швов заданным характеристикам приводит к увеличению эксплуатационных затрат и может привести к чрезвычайным ситуациям.

Разработка методов и приборов контроля состояния материалов и изделий, получаемых с помощью различных технологий, является важным фактором качества эксплуатируемых труб. Целью исследования является анализ и систематизация существующих методов разрушающего контроля (РК) стальных трубопроводов. Каждый из совокупности методов РК требует отбора проб или вырезки образцов непосредственно из материала объекта, при этом сам объект остается неработоспособным до восстановления мест отбора проб (образцов).

К таким методам контроля относят механические, металлографические и коррозионные испытания, технологическую пробу, химический анализ, а также испытания на свариваемость.

1. Механические испытания. Механические испытания являются одним из основных методов РК. Такие методы включают растяжение, изгиб, сплющивание и другие виды разрушения, которые количественно характеризуют прочность, качество и надежность соединений. По характеру нагрузки предусматривают статические, динамические и усталостные испытания [2]. Разрушающие испытания чаще всего проводят на образцах-свидетелях, которые сваривают из того же материала и по той же технологии, что и сварные соединения изделий.

Суть испытания на статическое растяжение заключается в подаче растягивающей нагрузки на стандартизированный образец до момента его разрушения (рис. 1) [3].

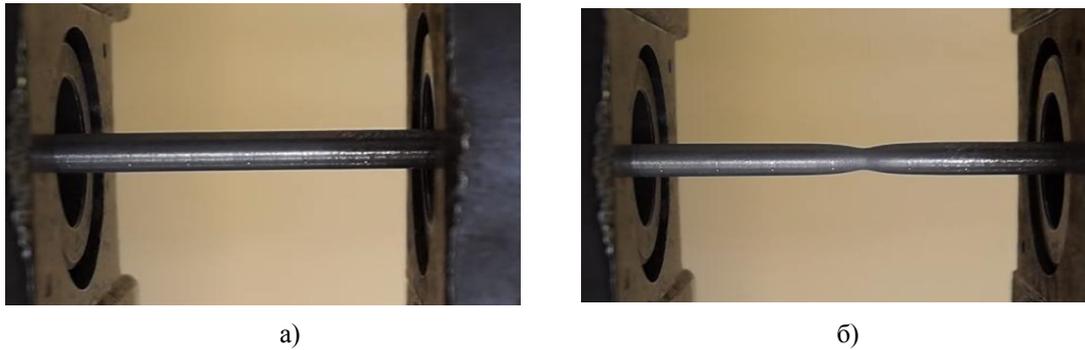


Рис. 1. Испытание образца на статическое растяжение: а) образец до испытания; б) образец перед разрушением [2]

При этом качество сварного соединения, а также прочность металла трубопровода характеризуются различными параметрами, определяемыми по диаграмме растяжения (рис. 2), которая отображается на дисплее испытательной машины.

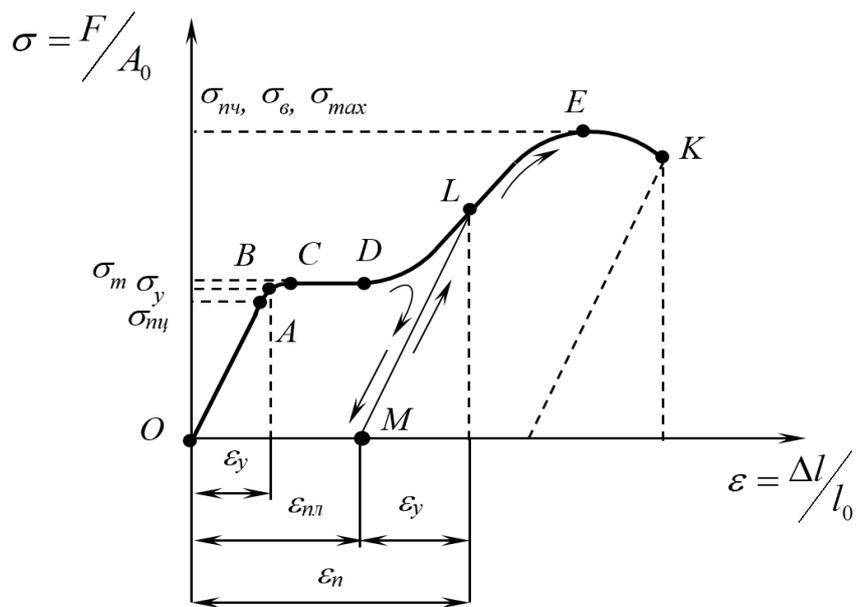


Рис. 2. Диаграмма растяжения для образцов из разного материала [2]

Этими параметрами являются:

- предел текучести физический, σ_T , МПа (кгс/мм²) или предел текучести условный, $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²);
- временное сопротивление, σ_B , МПа (кгс/мм²);
- относительное удлинение после разрыва (на пятикратных образцах) δ_5 , %;
- относительное сужение после разрыва, ψ , %.

Наиболее значимым показателем является предел текучести, по которому также определяют марку стали.

В таблице представлены марки стали в соотношении с пределом текучести, однако в зависимости от типа термообработки и температуры предел текучести может варьироваться.

Предел текучести сталей

Марка	Предел текучести, МПа
Сталь Ст0	190
Сталь Ст1	190
Сталь Ст2	220
Сталь Ст3	240
Сталь Ст4	260
Сталь Ст5	280
Сталь Ст6	310

В суровых климатических условиях трубопроводы требуют большей надежности, а соответственно и проверка их прочности должна осуществляться при температурах, близких к эксплуатационным. Нормативная документация устанавливает оптимальную температуру для проведения такого рода опытов – минус 40 °С. Для обеспечения данной температуры образцы помещают в криокамеру с охлажденным спиртом.

Для того, чтобы определить способность сварного соединения или металла принимать заданный по форме и размеру изгиб, проводят испытания на статический изгиб. Характеризуется эта способность углом α (рис. 3), при котором образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытаний.

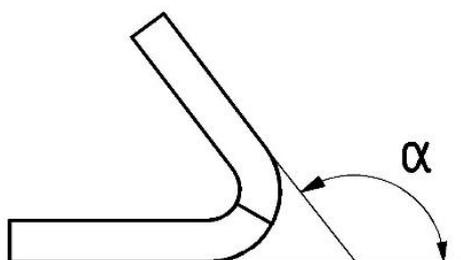


Рис. 3. Испытание на статический изгиб [2]

2. Металлографические исследования. Для изучения макро- и микроструктуры металлов и их влияния на прочностные характеристики, механические, электрические и другие свойства сплавов и соединений используют металлографические исследования. При макроисследовании невооруженным глазом обнаруживаются такие дефекты, как белые пятна (флокены) (рис. 4).

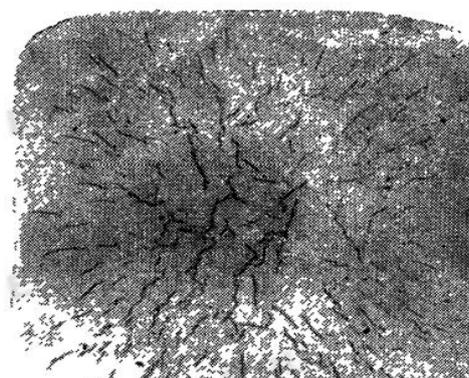


Рис. 4. Флокены в поперечном макрошлифе катаной стали [3]

Для обнаружения пережога, микроскопических трещин, наличия окислов по границам зерен, определения величины зерен металла в микроанализе используются микроскопы в комплексе с системами анализа изображений.

3. Коррозионные испытания. Одним из наиболее распространенных методов определения влияния коррозии на металлы является гравиметрический метод, при котором индикатором разрушающего воздействия является массометрический показатель

$$K_m = \frac{m_0 - m}{s \cdot \tau},$$

где m_0 – масса исходного образца, г; m – масса образца после испытания и удаления продуктов коррозии, г; s – площадь поверхности образца, м²; τ – время испытания, с.

При этом уменьшение массы образца в испытании, отнесенное к единице его поверхности в единицу времени, описывает воздействие на металл только равномерной коррозии.

Наиболее опасным является совместное влияние коррозии и механического воздействия на металлы и сплавы [4–6]. Тогда в лабораторных условиях с использованием специализированного оборудования определяют коррозионно-механическую прочность, например, методом одноосного растяжения с постоянной малой скоростью деформирования (рис. 5).

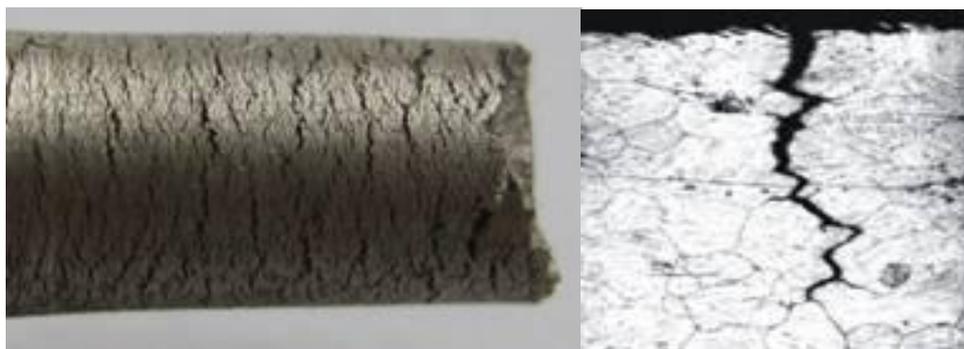


Рис. 5. Коррозионное растрескивание марганцовистых сталей при одноосном растяжении с постоянной малой скоростью деформирования [4]

4. Химический анализ. Все рассматриваемые методы химического анализа металлов трубопроводов опираются на знания аналитической химии, основной целью которой является обеспечение высокой чувствительности и точности определения состава изучаемого образца [7].

Для идентификации того или иного элемента в составе металлов и сплавов применяется качественный анализ, например, метод стилоскопирования, позволяющий определить наличие разного рода включений в образец по их свечению. Данный метод, благодаря возможности применения переносных устройств на производстве, может быть осуществлен не только в лабораторных условиях, но и на рабочем месте, что позволяет сохранить целостность изделия. Однако, использование такого способа требует высокой квалификации операторов, что, в свою очередь, приводит к субъективности получаемых результатов.

Более высокую точность результатов может обеспечить пробирный метод, основывающийся на физико-химических закономерностях восстановления металлов. Возможность использования этого способа усложняется необходимостью длительной подготовки образцов к анализу их состава [8].

5. Испытания на свариваемость. Определение надежности сварного соединения, его соответствия высоким требованиям в эксплуатационных условиях осуществляется путем сравнения основных характеристик изучаемого соединения с нормативными значениями.

Способность металла менять свои свойства под действием сварки характеризуется степенью свариваемости, которая показывает количественное соотношение некоторых показателей свойств зоны наиболее подвергшейся негативному воздействию оплавления и первоначального металла или сплава [9–11]. Определяется степень свариваемости экспериментальным, наиболее подходящим в зависимости от условий использования сварного соединения, методом. Можно отметить следующие основные испытания для проведения оценки свариваемости: сопротивление образованию горячих трещин при сварке; сопротивление образованию холодных трещин при сварке; стойкость против старения в зоне термического влияния, стойкость против искусственного старения и др. О соответствии соединения требованиям говорит положительный результат прохождения всех видов испытаний, выбранных для прохождения того или иного сварного соединения. При отрицательном результате по хотя бы по одному из испытаний степень свариваемости считается неудовлетворительной. И тогда, необходимо производить повторное испытание с изменением технологии сварки [12].

Выводы. Проанализировав базовые методы разрушающего контроля и отметив основные достоинства и недостатки каждого из них, можно сделать вывод, что основным способом определения решающих характеристик металлов и сплавов являются механические испытания. Используя стенды для определения прочности металлических образцов, можно добиться высокой точности в установлении марки стали, что позволит определить возможность эксплуатации данного материала в заданных условиях.

Развитие методов разрушающего контроля позволит с большей точностью определять несовершенство металла, из которого выполняются трубопроводы, что станет решающим фактором в обеспечении их безопасной эксплуатации и снижении расходов при выходе труб из строя.

Библиографический список

1. Волченко В.Н. Контроль качества сварки. М.: Машиностроение. 1975. 328 с.
2. Методы оценки качества, используемые для сварных соединений / А. Новожилов, В. Михеев, П. Алексеев [и др.] // ТехНадзор. 2015. №12. С. 126–127.
3. ISopromat.ru : техническая механика [Электронный ресурс]. М: ИнтраПлюс. 2009. Режим доступа: <https://isopromat.ru> (дата обращения: 21.02.2021).
4. Федосова Н.Л. Антикоррозионная защита металлов. Иваново, 2009. 187 с.
5. Вопросы металловедения в гальванотехнике и оррозии: учеб. пособие / С.Н. Родников [и др.]. Горький: изд. ГГУ, 1989. 104 с.
6. Герасименко А.А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справочник / под ред. А.А. Герасименко. М.: Машиностроение, 1987. 688 с.
7. Мухина З.С. Методы анализа металлов и сплавов. М.: Химия, 1959. 528 с.
8. Сварка. Резка. Контроль: справочник. В 2-х томах / Н. П. Алешин [и др.]. М.: Машиностроение, 2004. 624 с.
9. Долгополов Н.Н. Электрофизические методы в технологии строительных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 305 с.
10. Юхин Н.А. Дефекты сварных швов и соединений. М.: Соуэло, 2007. 156 с.
11. Хорошилова Е.Л., Петрикеева Н.А, Попова Н.М. Повышение противокоррозионных свойств защиты газонефтепроводов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. № 2 (11). С. 42–49.
12. Повышение противокоррозионных свойств нефтехимического и газового оборудования/ Е.Г. Усачёв, А.В. Добычин, М.М. Островская, Н.А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2019. № 1 (14). С. 22–28.

Для цитирования: Журавлев П.О., Плаксина Е.В. Разрушающие методы контроля трубопроводов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 1 (22). С. 34–38.