

УДК 622.276

Колотилов Ю.В., д.т.н., профессор
Гладков И.В., к.т.н., доцент
Захарина А.Ю., студентка ХТ-22-07
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Kolotilov Yu.V., Doctor of Technical Sciences, Professor
Gladkov I.V., Ph.D., Associate Professor
Zakharina A.Yu., student of ХТ-22-07
National University of Oil and Gas "Gubkin University"

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS OF PROCESS PIPELINES TO ENSURE SAFE LIFE

С целью подготовки к реализации перспективных проектов, где требуются трубы с повышенными эксплуатационными характеристиками, особенно для условий Крайнего Севера, были приняты решения об организации комплексных испытаний труб для объектов газотранспортных систем. В первую очередь это касалось высокопрочных труб, обеспечивающих необходимые экономическую эффективность и объемы транспортировки газа.

Практика проведения полномасштабных испытаний труб получила широкое распространение и ставила перед собой цель - разработку и опробование методик полномасштабных испытаний, комплексный анализ работоспособности труб и решала следующий комплекс задач:

- подготовку металлургического и трубного производства, изготовление опытно-промышленной партии труб и анализ соответствия свойств труб требованиям нормативного документа [1];
- исследование напряженно-деформированного состояния труб, определение трещиностойкости и конструктивной прочности металла труб с применением гидравлических испытаний;
- полномасштабные полигонные испытания труб статическим изгибом и на остановку протяженного вязкого разрушения, с последующей разработкой нормативной документации на трубы.

Специальное внимание было уделено особенностям монтажа, эксплуатации и ремонта объектов газотранспортных систем. Таким образом сформировались определенные технические требования к металлу труб

[1]: KCV [Дж/см²] - ударная вязкость на образцах Шарпи, KCU [Дж/см²] - ударная вязкость на образцах Менаже, K_{DWTT} [%] - процент доли вязкой составляющей в изломе образца основного металла труб (DWTT - drop weight tear tests = ИПГ - испытания падающим грузом), D_y [мм] - условный диаметр трубопровода, δ [мм] - толщина стенки труб, p [МПа] - рабочее давление.

В процессе эксплуатации технологических трубопроводов под действием постоянно действующих на них таких факторов, как температура и давление происходит деградация свойств стали, из которой они изготовлены. Например, в трубопроводной обвязке аппаратов воздушного охлаждения газа (АВО) при рабочем режиме компрессорного цеха давление во входных и выходных коллекторах составляет 6,2 МПа. В газопроводах давление газа составляет 7,36 МПа. Температура транспортируемого газа достигает 60÷80 С. Деградация свойств стали особенно активно происходит на наружной и внутренней поверхностях технологических трубопроводов.

В поверхностных слоях технологических трубопроводов происходит обезуглероживание – уменьшение содержания углерода. Это, в свою очередь приводит к изменению прочностных свойств материала, твердости и прочности.

Существует косвенный метод определения прочностных свойств материала технологических трубопроводов. Он заключается в замере твердости поверхностного слоя технологических трубопроводов переносными портативными твердомерами (например, прибор ТЭМП-4) с последующим определением предела прочности стали.

Измерить твердость можно непосредственно на технологическом трубопроводе. Перед этим, для определения твердости, требуется обеспечить отсутствие на анализируемой поверхности следов изоляции, загрязнений, царапин и других видимых дефектов.

Для замера твердости необходимо подготовить площадку размером 50×50 мм. При этом шероховатость поверхности на подготовленной площадке должна быть Ra ≤ 2,5 мкм. Замер твердости должен производиться на расстоянии L_т < 150 мм от сварного шва для обеспечения определения твердости именно основного материала трубы. Наиболее предпочтительным для проведения измерений является сектор в верхней части трубы – между 11 и 13 часами.

Для определения величины твердости необходимо пользоваться результатами не менее, чем трех замеров твердости, проводимых на расстоянии не менее 10 мм один от другого. Далее оцениваем предел прочности материала трубы по результатам замера твердости.

Тем не менее, вклад в изменение механических свойств трубных сталей из-за обезуглероживания, т.е. из-за изменения содержания углерода в поверхностных слоях труб при температурах до 100 С незначителен.

После длительной эксплуатации предел текучести у трубных сталей повышается, при этом относительное удлинение и сужение уменьшаются примерно на 10% по сравнению с характеристиками пластичности труб в исходном состоянии. Кроме того, многочисленные исследования прочностных свойств трубных сталей в процессе их длительной эксплуатации свидетельствуют о том, что происходит охрупчивание материала труб, проявляющееся при динамических испытаниях, т.е. изменяется ударная вязкость сталей.

Исследования металла труб, находившихся в эксплуатации до 30 лет, показали, что деформационное старение сопровождается небольшим изменением прочностных свойств (как правило, небольшим увеличением), таких как предел прочности и текучести, однако оно приводит к снижению ударной вязкости стали KCV [Дж/см²]. Так, после 25 лет эксплуатации, KCV стали 17Г1С уменьшается на 17÷34%, а стали 19Г на 13÷33% по сравнению с металлом в исходном состоянии. Поверхность разрушения образцов после определения ударной вязкости, изготовленных из труб после 25 лет эксплуатации, имеет квазихрупкий характер, т.е. материал охрупчивается и соответственно снижается ударная вязкость. Материал труб при этом становится менее стойким к образованию трещин, в том числе и к коррозионному растрескиванию под напряжением [2].

Таким образом, после длительной эксплуатации логично при контроле твердости трубных сталей получать большие значения твердости по сравнению с твердостью сталей в начале эксплуатации технологических трубопроводов. Большие значения твердости, получаемые при замерах, будут свидетельствовать о снижении ударной вязкости материала труб, т.е. об охрупчивании и большей расположенностью к растрескиванию, особенно под напряжением. При этом, решающее значение при зарождении и росте трещин, в материале технологических трубопроводов могут сыграть кинематические нагрузки.

Изменение прочностных свойств трубных сталей в процессе эксплуатации [3] обуславливают необходимость разработки соответствующих методов определения остаточного ресурса технологических трубопроводов и методов их ремонта с учетом показателей оценки технического состояния и физико-механических свойств конструкционных материалов [4].

В натурных условиях диагностики физико-механических свойств стали, следует обратить внимание на следующие положения. Если при замерах твердости трубных сталей получаются значения меньшие, чем у исходного материала, то для этого могут быть следующие причины:

- 1) неполное и некачественное удаление изоляционного покрытия трубы;
- 2) площадка для замера твердости не обезжирена;
- 3) плохая подготовка площадки на трубе для замера - шероховатость поверхности не соответствует требуемой;

- 4) замер твердости производится на расстоянии $L_{\text{зам}} < 150$ мм от сварного шва;
- 5) неправильно выбран сектор трубы для замера твердости;
- 6) замер производится не поверенным или неисправным прибором;
- 7) используемый прибор не предназначен для замера твердости трубы с такой толщиной стенки (существуют ограничения по замерам твердости для труб с различными толщинами стенок);
- 8) недостаточен опыт исполнителя при работе с твердомером;
- 9) замер твердости производится без использования эталонных мер твердости;
- 10) замер твердости производится в месте концентрации растягивающих напряжений, возникающих из-за воздействия кинематических нагрузок.

Различные значения твердости при замерах могут быть получены из-за различия плавок листового материала, из которого была изготовлена труба. Кроме того, на величину твердости влияет вид термической обработки или термомеханической обработки, которой был подвергнут материал трубы при изготовлении.

Замеренная твердость, большая по сравнению с исходным состоянием материала труб после их длительной эксплуатации, может судить о прошедшем деформационном старении и охрупчивании материала, повышении его склонности к образованию трещин, особенно под напряжениями, инициируемыми кинематическими нагрузками.

Список литературы

1. СП 36.13330.2012. Свод правил. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. - М.: ФАУ ФЦС, 2012. - 93 с.
2. Ряховских И.В. Комплексная методика исследования коррозионно-механических свойств малоуглеродистых низколегированных трубных сталей и оценка их стойкости против коррозионного растрескивания под напряжением. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 - динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры. - М.: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2013. - 154 с.
3. Терентьев В.Ф., Кораблева С.А. Усталость металлов. - М.: Наука, 2015. - 479 с.
4. Иванов А.Р. Разработка методики оценки остаточного ресурса трубопроводов и резервуаров, работающих в условиях Крайнего Севера. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 - динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры. - Новосибирск: Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 2011. - 136 с.

References

1. SP 36.13330.2012. Set of rules. Main pipelines. Updated edition of SNiP 2.05.06-85*. - M.: FAU FTSS, 2012. - 93 p.
2. Ryakhovskikh I.V. A comprehensive method for studying the corrosion-mechanical properties of low-carbon low-alloy pipe steels and assessing their resistance to stress corrosion cracking. - Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 01.04.07 - dynamics, strength of machines, instruments and equipment. - M.: National Research Nuclear University "MEPhI", 2013. - 154 p.
3. Terentiev V.F., Korableva S.A. metal fatigue. - M.: Nauka, 2015. - 479 p.
4. Ivanov A.R. Development of a methodology for assessing the residual life of pipelines and tanks operating in the Far North. - Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 01.02.06 - dynamics, strength of machines, instruments and equipment. - Novosibirsk: Institute of Hydrodynamics. M.A. Lavrentiev SO RAN, 2011. - 136 p.