

Расчетное обоснование времени назначения дублирующего контроля при сварке нефте– и газопроводов в условиях экстремально низких температур

10, октябрь 2014

Розанов Д. С.

УДК: 621.791

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

rozanovds@rambler.ru

В настоящее время прокладка новых нефте- и газопроводов осуществляется преимущественно в отдаленных районах Крайнего Севера, а также в Западной и Восточной Сибири. Эти районы относятся к районам с холодным и очень холодным климатом, для которых продолжительность температуры ниже -40°C составляет до двух месяцев [1]. Следует отметить, что основные работы по строительству трубопроводов проводятся в зимнее время по причине того, что основными трассами для доставки материалов на строительство являются зимники, пригодными для эксплуатации только в период отрицательных температур. При строительстве трубопроводов неразрушающий контроль сварных соединений выполняется два раза - непосредственно после сварки проводится контроль для выявления технологических дефектов, а затем дублирующий контроль для выявления дефектов типа холодных трещин, которые могут образоваться в течение некоторого отрезка времени после сварки. Определение времени проведения дублирующего контроля является важной задачей, так как при недостаточном времени могут быть пропущены дефекты и произойти разрушение трубопровода, а при избыточном времени повышаются стоимость работ и сроки ввода трубопровода в эксплуатацию.

Проводившиеся ранее экспериментальные работы [1] показывают, что разрушение сварных образцов одной серии, сваренных при одинаковых условиях, отличается при испытаниях в условиях комнатной температуры и температуре окружающего воздуха -40°C следующим образом: при комнатной температуре разрушение образцов происходит в течение 1 – 3 часов, а при температуре -40°C разрушение происходит в течение 10 – 100 часов.

В жестких пробах образование и распространение холодных трещин происходит в течение 7 – 20 суток, при этом замедление процесса образования и развития холодных трещин связано с изменением времени достижения критического содержания водорода,

что доказывается совпадением с кинетикой выделения водорода из шва при низких температурах [2].

По существующим данным [3, 4] склонность к холодным трещинам (водородному охрупчиванию) связана с локальным пересыщением кристаллической решетки водородом. Влияние водорода при нормальной температуре проявляется уже при содержании 0,75 – 1,0 – см³/100 г металла, при котором фиксируется снижение пластичности стали. При содержании водорода свыше 10 см³/100 г мет пластичность металла имеет минимальное значение и при дальнейшем увеличении его концентрации практически не уменьшается. Характер водородного охрупчивания зависит от температуры: в диапазоне от -100 °С до 100 °С типично хрупкое; в диапазоне от 100 °С до 200 °С – вязко – хрупкое. При температуре выше 200°С водородная хрупкость не проявляется.

В диапазоне температур от -100 °С до – 200 °С, при которых снижена диффузионная подвижность атомов водорода, формируются устойчивые комплексы дислокаций с водородом. Дислокации увлекают за собой водородные атмосферы, что приводит к повышению концентрации водорода на скоплениях дефектов кристаллической решетки, в т.ч. на границах бывших аустенитных зерен [5]. Последнее способствует зарождению очагов холодных трещин на границах ОШЗ сварных соединений из НЛС. При температурах свыше 200°С происходит “распад” водородных атмосфер на дислокациях и соответственно исчезновение явления водородной хрупкости.

Анализ результатов испытаний образцов, предварительно обработанных сварочным термическим циклом и наводороженных, на замедленное разрушение показал, что они достаточно хорошо согласуются с общими положениями теории водородной хрупкости стали. По результатам испытаний, выполненных в работе [6], получена математическая модель критической концентрации водорода, при которой происходит хрупкое замедленное разрушение (аналог ХТ в ОШЗ НЛС), соответствующее минимальной замедленной прочности ($\sigma_{r\ min}$).

На основании анализа рассмотренных данных выбраны температурный и концентрационный критерии водородной хрупкости, при которых исключается образование холодных трещин при сварке низколегированных низкоуглеродистых сталей (соответственно нагрев выше 200 °С и концентрации диффузионного водорода ниже 1 см³/100 г металла).

Таким образом, в качестве критерия для определения сроков дублирующего контроля выбран интервал времени, в течение которого концентрация диффузионного водорода в середине сечения сварного соединения становится меньше установленного критического значения. Этот интервал времени зависит главным образом от температуры проведения работ и толщины стенки трубопровода.

Расчетная методика определения концентрации диффузионного водорода в сварных конструкциях, сваренных многослойными швами, созданная автором, и её реализация в виде научно – исследовательского программного комплекса «Сварка» описаны в [4].

Номограмма для определения времени дублирующего контроля в зависимости от толщины стенки и температуры во время проведения работ для стали класса прочности К56 ($S_{экв} \leq 0.41$) приведена на рисунке 1.

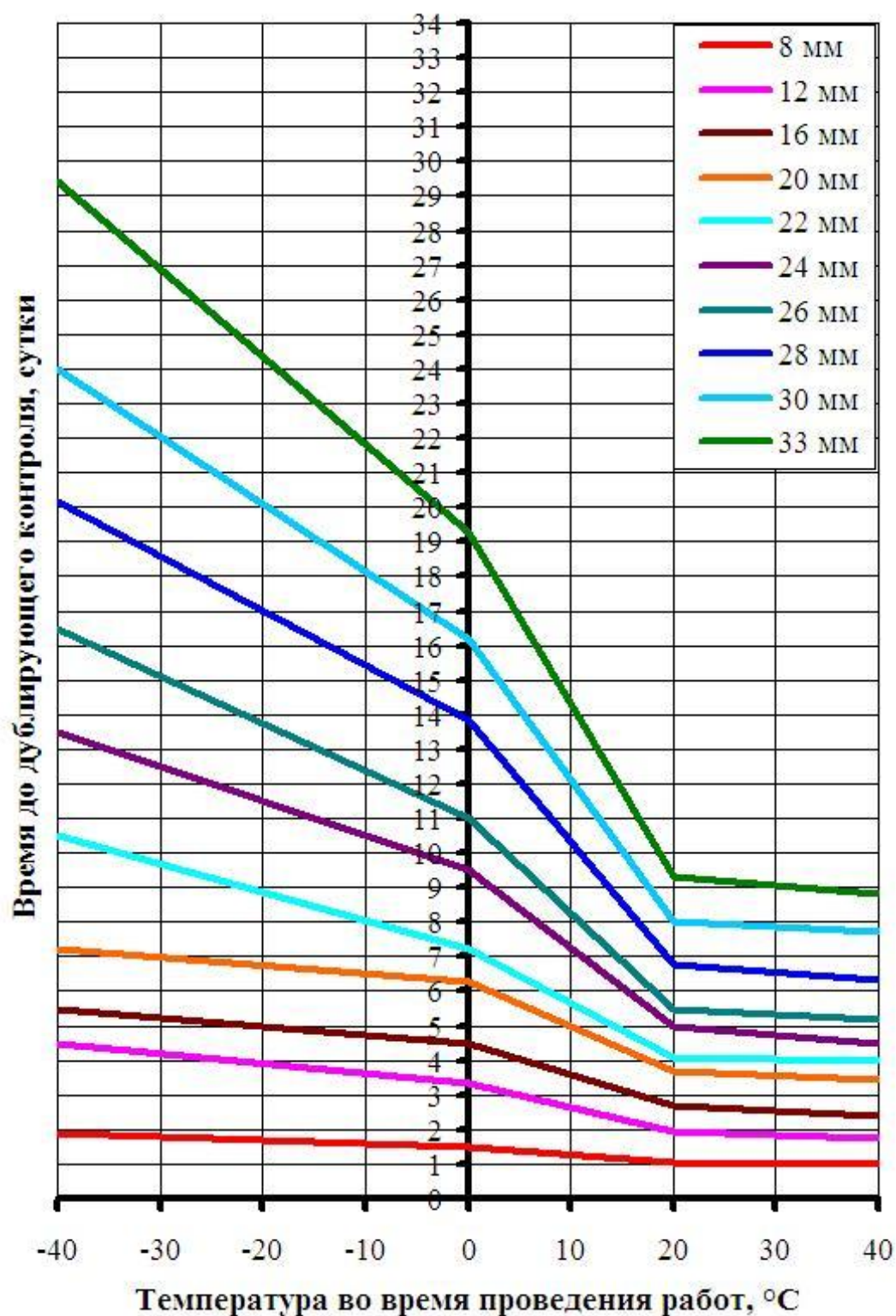


Рисунок 1 – Номограмма для определения времени дублирующего контроля в зависимости от толщины стенки и температуры во время проведения работ для стали класса прочности К56 ($S_{экв} \leq 0.41$)

Номограмма для определения времени дублирующего контроля в зависимости от толщины стенки и температуры во время проведения работ для стали класса прочности К56 ($S_{экв} = 0,42 \dots 0,46$) приведена на рисунке 2.

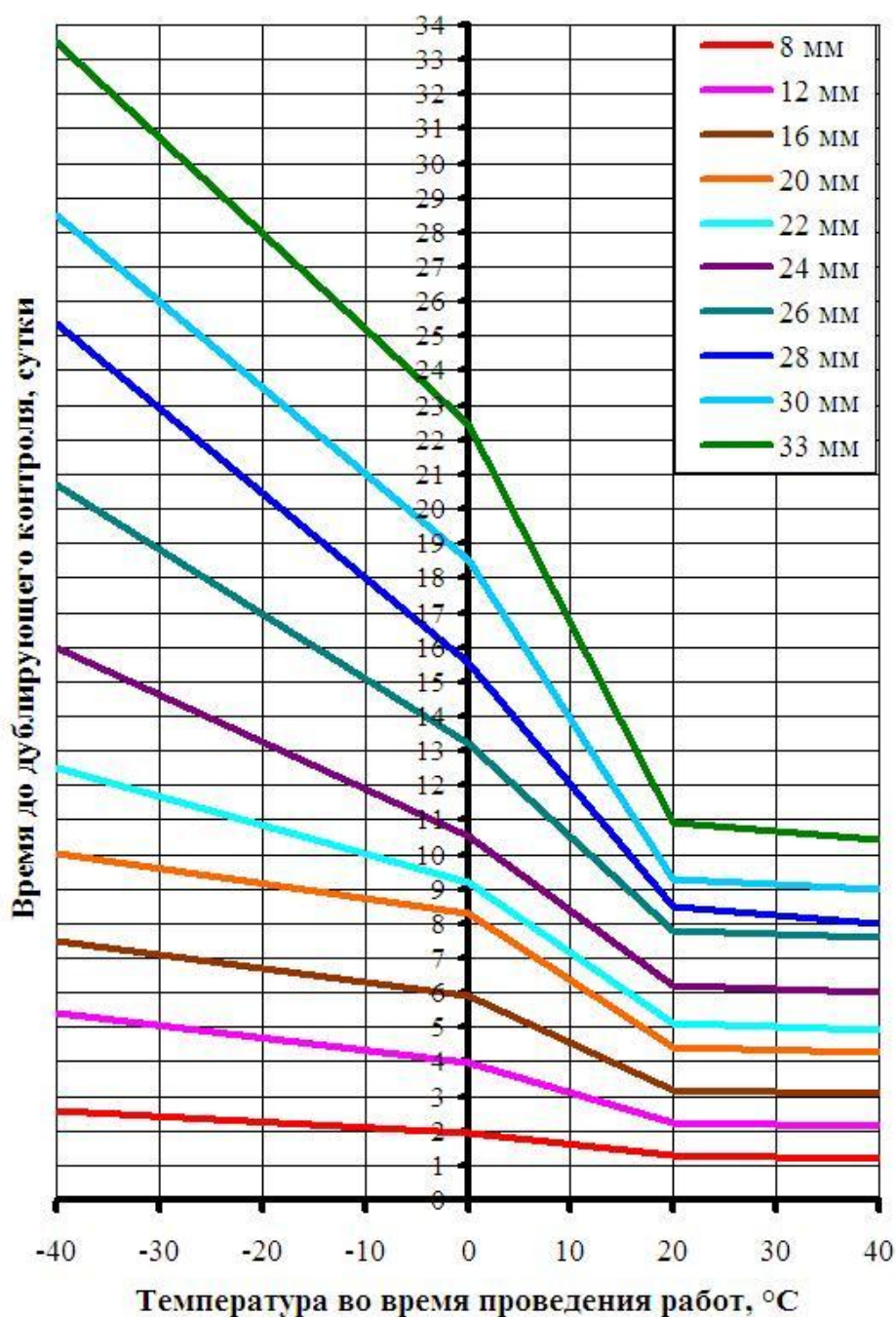


Рисунок 2 – Номограмма для определения времени дублирующего контроля в зависимости от толщины стенки и температуры во время проведения работ для стали класса прочности К56 ($S_{экв} = 0,42 \dots 0,46$)

Как видно из полученных графиков, время дублирующего контроля с понижением температуры окружающей среды при сварке резко увеличивается. Это объясняется резким

уменьшением скорости процессов диффузии и десорбции водорода при уменьшении температуры.

Стали, для которых приведены номограммы, в настоящее время активно используются для прокладки нефтепроводов в условиях вечной мерзлоты. Для других сталей с использованием указанной методики могут быть получены свои номограммы, для чего требуется определение величин коэффициентов диффузии водорода и растворимости как функций от температуры на требуемом температурном отрезке.

Научная новизна. Разработан методический подход и алгоритм расчета времени дублирующего контроля сварных соединений трубопроводов, сваренных в условиях экстремально низких температур, на основе сравнения рассчитанной методом конечных элементов текущей концентрации водорода при многослойной сварке в условиях многократных нагрева, охлаждения и изменений фазового состава структуры с учетом зависимости диффузионных свойств металла от температуры и структурного состояния металла с критической концентрацией диффузионного водорода.

Список литературы

1. Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф. Разрушение труб магистральных газопроводов (современные представления о коррозионном растрескивании под напряжением). – Екатеринбург:Спектр, 1997. - 102с.
2. Варламов Д.П., Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф., Стеклов О.И. Мониторинг дефектности и прогноз состояния магистральных газопроводов России. –Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012, - 254 с.
3. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2014, -487 с.
4. Розанов Д.С. Расчетное обоснование режимов послесварочного нагрева при сварке крупногабаритных оболочковых сварных конструкций в энергетическом машиностроении // Сварка и Диагностика. -2011. -№3. -С. 47-49.
5. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышева. – М.: Машиностроение, 2004. Т.1/ Н.П. Алешин [и др.] – 624 с.: с ил.
6. Куркин А.С., Программный комплекс «Сварка» - инструмент решения практических задач сварочного производства/ А.С. Куркин, Э.Л.Макаров // Сварка и диагностика. - 2010. -№1. -С. 16 – 24.