

# ФАКТОРЫ СНИЖАЮЩИЕ КОНСТРУКТИВНУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛА ТРУБ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

*Плешивцев В.Г., Пак Ю.А. и Филиппов Г.А. (ДепТЭХ г. Москвы, ЗАО «ЮННА ПАК», ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина)*

**Третья научно-практическая конференция «Тепловые сети. Современные практические решения»**

Стальные трубы для строительства тепловых сетей нормированы СНиП «Тепловые сети. Материалы, оборудование, арматура, изделия и строительные конструкции», по которым предусмотрено использование в тепловых сетях труб в основном из стали марки: Ст.3, 10, и 20. Выбор стальных труб осуществляется в зависимости от величины и характера нагрузок и других специальных требований в зависимости от условий эксплуатации. При повышенных прочностных требованиях к конструкции трубопроводов требуются стали с повышенным пределом текучести и временным сопротивлением разрыву. Для воздушных (надземных) теплопроводов рационально применение труб из сталей с повышенными прочностными характеристиками. Это позволяет максимально увеличить расстояния (пролеты) между опорными конструкциями, что в свою очередь уменьшает стоимость сооружения. Для прокладки разводящих трубопроводов тепловых сетей используются водогазопроводные сварные трубы по ГОСТ 3262-75. Они используются при давлении теплоносителя до 1,6 МПа и температуре до 150°C. Однако требования действующих НТД, разработанных более 30 лет назад устарели и не отвечают современным условиям эксплуатации тепловых сетей.

Возросшие требования к трубопроводам тепловых сетей в современных условиях обуславливают необходимость в разработки новых марок сталей, обладающими специальными свойствами, отвечающие повышенными служебными и потребительскими характеристиками для труб тепловых сетей.

Одним из главных факторов снижения эксплуатационной стойкости трубопроводов, в том числе тепловых сетей, являются процессы общей и локальной коррозии, деформационного старения, а также ухудшение механических характеристик и сопротивления металла разрушению. Коррозия приводит к уменьшению толщины стенки трубы и возникновению концентраторов напряжений, деградация свойств снижает сопротивление зарождению и распространению трещины, что может вызывать при рабочих, и особенно испытательных, давлениях разрушение трубопровода.

Поэтому важной задачей является исследование вклада этих факторов в изменение сопротивления разрушению металла труб и разработка на этой основе принципов создания новых трубных сталей, устойчивых к силовому и тепловому воздействиям.

Известно, что действующая система допустимого уровня испытательного давления трубопроводов тепловых сетей не учитывает длительность эксплуатации, степень коррозионного повреждения металла труб и процессов старения и деградации свойств. Хотя существуют работы, в которых показано, что уменьшение толщины стенки трубы в результате коррозии может быть учтено при выборе испытательного давления, что, в свою очередь, может снизить вероятность непреднамеренного разрушения стенки трубы и увеличить её эксплуатационный ресурс.

Важным моментом является то, что высокое испытательное давление в трубах, пораженных коррозией, приводит к развитию пластической деформации, что с одной стороны усиливает процесс коррозии, а с другой- уменьшает запас пластичности стали.

В качестве примера на рис. 1 представлены результаты исследования влияния пластической деформации, на склонность к общей коррозии трубной стали.

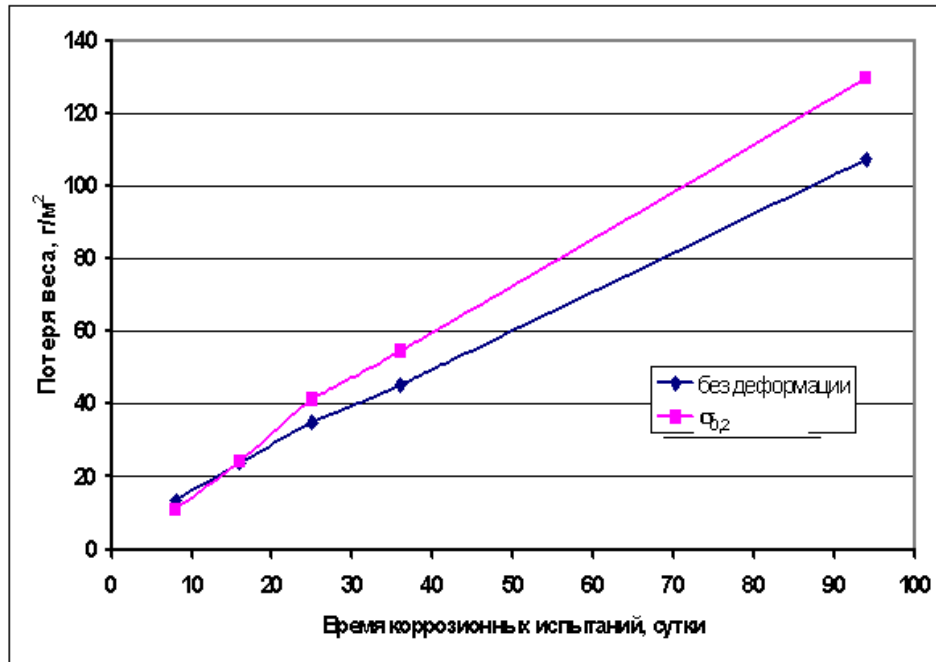


Рис. 1. –Влияние деформации на потерю веса образцов из углеродистой стали при коррозионных испытаниях

Известно, что на скорость коррозионных процессов влияет химический состав стали. Поскольку в качестве основного материала для труб теплосетей используются простые углеродистые и низколегированные стали, то основным фактором, от которого зависит коррозионная стойкость таких труб, является степень их чистоты по неметаллическим включениям и содержание углерода. В тоже время, скорость коррозии в значительной степени зависит от структурного состояния металла. Это затрудняет однозначную трактовку влияния содержания углерода. Тем не менее, исследования влияния содержания углерода на коррозионную стойкость трубной стали показали, что повышение содержания углерода повышает скорость коррозии (рис. 2).

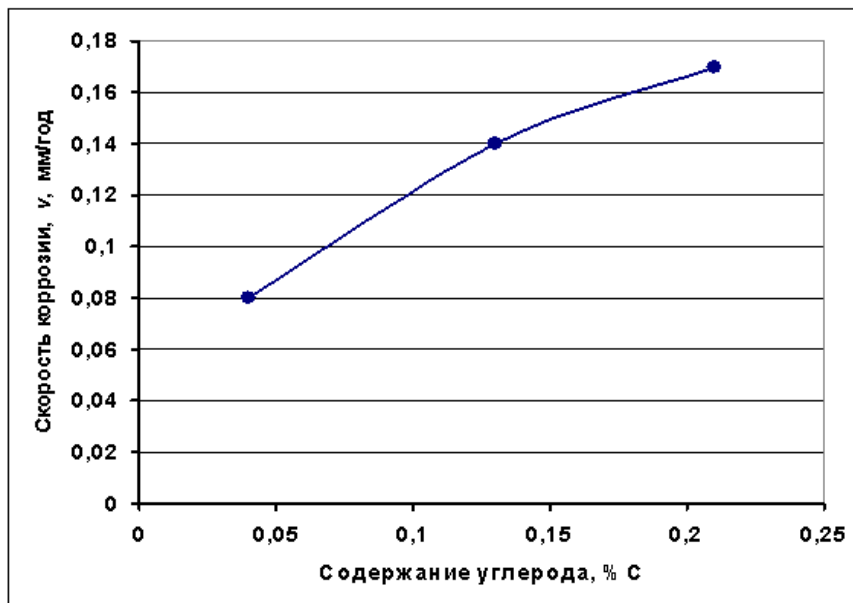


Рис. 2. Влияние содержания углерода на среднюю скорость коррозии трубных сталей

Если учесть, что скорость коррозии труб зависит ещё и от технологии производства листа и труб, то становится очевидной актуальность проблемы создания трубных сталей, отвечающих современным требованиям повышения надежности тепловых сетей.

Другим фактором, от которого зависит эксплуатационная стойкость труб тепловых сетей, является развитие процессов старения и деградации свойств. В результате комплексного исследования влияния длительной эксплуатации и последствий гидравлических испытаний, в том числе в условиях моделирования, на механические свойства и параметры сопротивления разрушению металла труб установлено следующее:

- Стандартные механические свойства ( $\sigma_b, \sigma_{0.2}, \delta, \Psi$ ) практически не зависят от срока эксплуатации;
- Длительная эксплуатация, так же как и периодические нагружения, имитирующие гидроиспытания, приводят к снижению структурочувствительных свойств, таких как работа зарождения и распространения трещины, ударная вязкость, хладостойкость, критическое раскрытие трещины и др.;
- Характеристики сопротивления разрушению снижаются тем больше, чем продолжительнее срок эксплуатации;
- Гидравлические испытания сокращают срок службы труб теплосетей;
- Деградация свойств металла труб происходит из-за возникновения локальных микронапряжений, развития процесса деформационного старения и накопления дефектов типа микротрещин.

Таким образом, из всего вышесказанного следует, что можно выделить два основных направления повышения эксплуатационной стойкости металла труб тепловых сетей.

Во-первых, учет основных факторов снижающих эксплуатационный ресурс трубопроводов при выборе испытательного давления периодических гидравлических испытаний. Это может быть осуществлено на основе представленного на рис. 3 алгоритма оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопровода по результатам расчетов на прочность и данных по коррозии и деградации свойств трубных сталей. Предложенный общий алгоритм оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопровода не только дает возможность эффективно устанавливать и научно обосновать значение испытательного давления, непрерывно

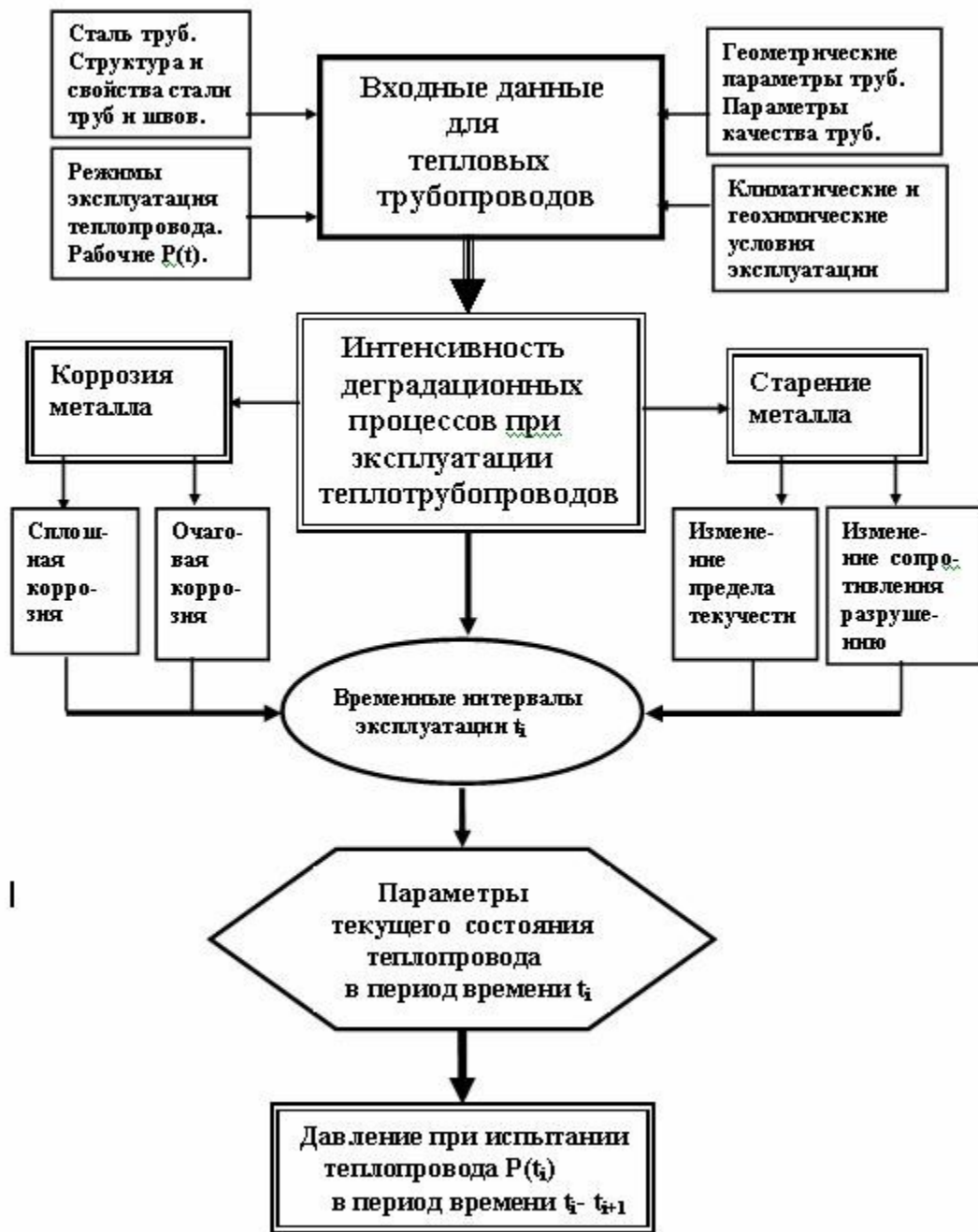


Рис. 3. Обобщенная система учета деградационных процессов для определения предельных состояний трубопроводов при выборе допустимого уровня испытательного давления.

отслеживать текущее техническое состояние трубопроводов тепловых сетей, но и использовать разработанную дифференцированную систему при гидравлических испытаниях тепловых сетей.

Во-вторых, увеличение эксплуатационного ресурса труб тепловых сетей может быть обеспечено за счет использования специально созданных марок трубных сталей, обладающих повышенной стойкостью к развитию коррозионных и деградационных процессов.

Трубы теплосетей, как магистральных, так и разводящих, изготавливаются из устаревших (существующих 30-50 лет) марок стали. Фактически для изготовления труб указанного назначения используются обычные конструкционные (строительные) стали, разработанные без учета конкретных условий эксплуатации и испытаний труб тепловых сетей. Химический состав этих сталей и технология их производства не обеспечивают современного металлургического качества металла труб. Сталь обычного качества характеризуется высокой загрязненностью вредными примесями и неметаллическими включениями, а также достаточно низким уровнем потребительских свойств. Ни в одних технических условиях, по которым поставляются трубы для теплосетей, не нормируются показатели, отвечающие требованиям, разработанным с учетом условий эксплуатации теплосетей.

В настоящее время большинство крупных потребителей труб, такие как «Газпром», «Транснефть» и др. несмотря на использование трехслойных защитных покрытий, катодной защиты и других мер увеличивающих срок эксплуатации трубопроводов, предъявляют конкретные дополнительные требования к металлу труб (улучшенная коррозионная стойкость, уменьшенная склонность к деформационному старению, свариваемость и др.). В соответствии с этими требованиями разрабатываются и успешно применяются стали нового поколения с повышенным комплексом потребительских свойств различного назначения.

Стали нового поколения для труб тепловых сетей улучшенного металлургического качества с повышенным комплексом потребительских свойств требуют своего решения. При проектировании и строительстве магистральных трубопроводов необходим дифференцированный подход к конструктивным параметрам труб (толщине стенки, диаметру и т.д.), химическому составу и технологическому производству трубных сталей с учетом их склонности к коррозионным и деградационным процессам при эксплуатации.

Предварительные результаты исследований свидетельствуют, что химический состав стали оказывает влияние на сопротивление разрушению, особенно в коррозионной среде. Очевидно, что даже в рамках одного структурного класса стали, не прибегая к дорогостоящему легированию, можно улучшить стойкость к коррозионной повреждаемости путем совершенствования химического состава и металлургической технологии производства стали для труб. Другим важным направлением увеличения надежности и срока эксплуатации труб теплосетей является, создание труб из стали, обладающей низкой склонностью к деформационному старению и улучшенной свариваемостью.

Ниже показаны основные пути разработки высоконадежных сталей для труб тепловых сетей:

- снижение содержания углерода;
- повышение содержания марганца;
- микролегирование (Nb, V);
- Снижение содержания вредных примесей ( $S \leq 0.005\%$ ;  $P \leq 0.015\%$ );
- снижение содержания газов ( $H_2 \leq 3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ ;  $N_2 \leq 0.006\%$ );
- микролегирование титаном для связывания азота из расчета его содержания с соответствии со стехиометрическим соотношением в нитриде;
- модифицирование неметаллических включений;
- использование ускоренного после деформационного охлаждения совместно с контролируемой прокаткой;
- В результате должно быть достигнуто:
- измельчение зерна феррита и размеров структурных составляющих;
- повышение однородности структуры;
- уменьшение структурной полосатости;
- снижение количества неметаллических включений.

В заключение необходимо отметить, что назрела насущная необходимость в разработке сталей с повышенным комплексом потребительских свойств (улучшенная коррозионная стойкость, низкая склонность к деформационному старению, хорошая свариваемость и др.), обеспечивающим увеличение ресурса трубопроводов тепловых сетей.