

УДК 620.18

## РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ КРЕМНИЙМАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ ПРИ НЕРЕГУЛЯРНОМ НАГРУЖЕНИИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖФАЗНЫХ СВЯЗЕЙ В СТЕНКЕ ТРУБЫ

© 2009 Л.А.Виноградова

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.07.2009

В статье обсуждается вопрос изменения межфазных связей в структуре за счет контактного взаимодействия материала трубы магистрального трубопровода с транспортируемым углеводородным продуктом.

Ключевые слова: межфазные связи, контактного взаимодействия, материал трубы, магистральный трубопровод, углеводородный продукт.

Для труб магистральных трубопроводов изготовленных из ферритно-перлитных сталей и подвергающихся цикловому усталостному воздействию при больших сроках эксплуатации, характерен значительный разброс ресурса работоспособности.

Исследование процессов трещинообразования в технических объектах в процессе их эксплуатации является актуальной задачей современной науки и техники. Важно знать не только распределение механических напряжений внутри объекта на тот или иной момент времени, но и иметь возможность постоянно контролировать динамику возникновения и развития трещин. В настоящей работе предпринята попытка обобщения явлений, происходящих в материале при совместном действии статических и динамических нагрузок. Рассмотрены структурные аспекты увеличения ресурса работоспособности сталей, имеющих исходную ферритно-перлитную структуру. Проведение сравнительного анализа результатов многочисленных экспериментов, выполненных различными авторами, опубликованных в литературе и собственными исследованиями, позволило сделать вывод, что долговечность материала труб магистральных трубопроводов зависит от структурных и фазовых превращений на наноровне.

Осуществлен анализ роли деформации в формировании морфологии фаз под воздействием сил трения, создаваемых движущимся потоком транспортируемого углеводородного сырья при стационарном режиме эксплуатации и динамическом за счет перепадов давлений в трубопроводе. Выявлены структурные изменения материала внутреннего диаметра труб магистральных трубопроводов при транспортировке углеводородного сырья за счет трения и внутри-

*Виноградова Лидия Александровна, доцент кафедры "Материаловедение и обработка металлов давлением".  
E-mail: omd@mf.ulsru.ru.*

трубного давления. Просматривается зависимость данных изменений структуры и свойств от уровня нагружения трубы, так и свойствами самого материала. Процесс деформации можно отнести к нанокристаллическому, так как он происходит путем смещения отдельных зерен слоев.

С.Ю. Тарасов, А.В. Колубаев в результате экспериментов установили, что зоны деформации могут возникать и исчезать, либо двигаться как вдоль, так и поперек скольжения. Кроме того, могут возникать деформации стационарные во времени и локализованные в пространстве. Стационарные (заторможенные) зоны деформации могут вновь начать двигаться при превышении тангенциального напряжения предела текучести материала. Если после остановки зона деформации начинает двигаться вновь, то это соответствует развитию пластической деформации и формированию более толстого сильно деформированного слоя. Следовательно, образуются полосы локализованного сдвига [1, 2].

Наиболее ярким проявлением локализации пластической деформации в пластинчатом перлите в условиях холодной деформации является способность ферритно-перлитной стали деформация без образования трещин. При этом теряется устойчивость ферритных прослоек. Показано, что на начальных стадиях циклической деформации, независимо от схемы нагружения, релаксация напряжений в ферритных зернах осуществляется путем дислокационного скольжения и последующего зернограницного проскальзывания. При увеличении числа циклов схема нагружения оказывает существенное влияние на механизмы релаксации внутренних напряжений. Под действием сжимающих напряжений теряется устойчивость цементитных пластин и ферритных прослоек перлита [3].

Считается, что пластическая деформация сопровождается непрерывным образованием и развитием микродефектов, таким образом, на-

дежность и живучесть труб при наличии дефектов материала зависит от микроструктуры и формы составляющих ее фаз. Результаты внутритрубной диагностики показывают, что все магистральные трубопроводы содержат дефекты [4]. Однако, по сведениям эксплуатирующих организаций более 70 % труб магистральных нефтепроводов Западной Сибири изготовленных из ферритно-перлитных сталей 17ГС и 09Г2С характеризуются высокой живучестью [5].

В настоящее время существуют различные взгляды на механизмы структурных и фазовых превращений в металлических материалах. Согласно структурной теории прочности в материаловедении строение материала рассматривается на макро-, микро- и мезоуровнях. Структурные превращения рассматриваются с позиции теории синергетики как неравновесный фазовый переход с образованием диссипативных (фрагментированных) структур в дефектной подсистеме. Превращения в дефектной подсистеме контролируются плотностью дислокаций и запасенной энергией деформации [6, 7]. Ю.Г. Кабалдин и С.И. Муравьев на основе проведенных исследований усталостного разрушения различных материалов предложили информационный механизм структурообразования в дефектных подсистемах. Способность дефектной подсистемы накапливать информацию при структурных превращениях свидетельствует о том, что она обладает памятью [8]. При этом открытая в соответствии с принципами синергетики система обменивается как энергией, так и информацией с внешней средой [9, 10]. Материал труб магистральных трубопроводов представляют собой си-

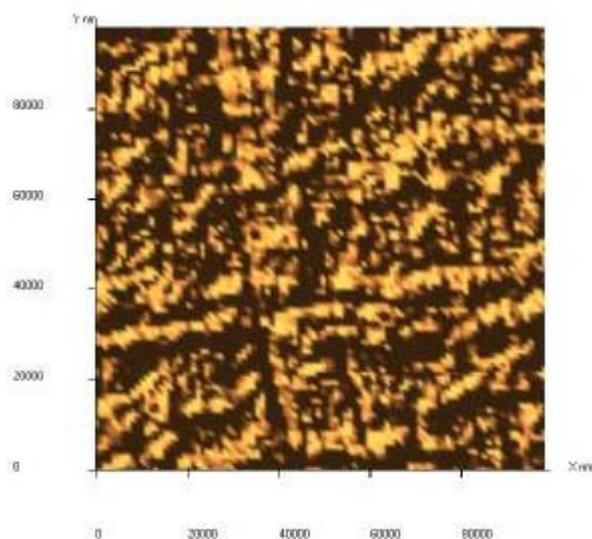
нергетическую систему, которая обменивается энергией с транспортируемым продуктом и представляет собой неравновесную (неустойчивую) структуру. Материал труб из малоуглеродистых низколегированных сталей, после охлаждения с прокатного нагрева имеет структурную составляющую пластинчатый сорбитообразный перлит. Сорбитообразный перлит неравновесная структура, фазовый состав которой пересыщенный углеродом феррит и цементит. Размер пластины цементитной фазы в сорбитообразном перлите колеблется от 1 до 5 нанометров.

При наличии неустойчивости изменяется роль внешних воздействий. В определенных условиях ничтожно малое воздействие на открытую систему может привести к значительным непредсказуемым последствиям. Цементитные пластины, ориентированные вдоль плоскости прокатки, разрушаются хрупко, с образованием многочисленных осколков (рис. 1).

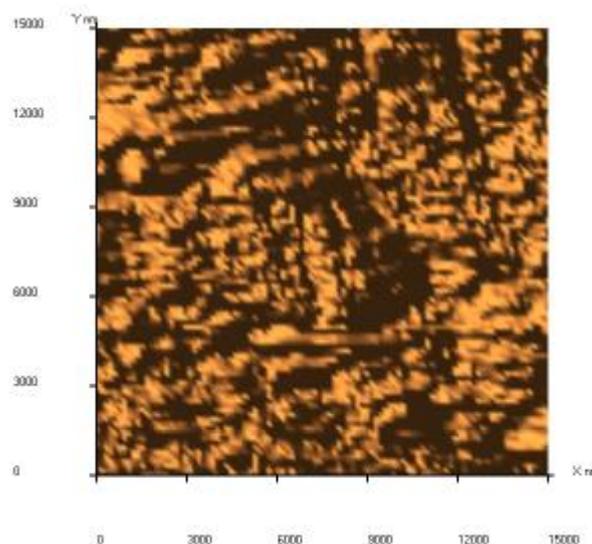
Цементитные пластины, расположенные перпендикулярно плоскости прокатки теряют свою устойчивость, приобретают волнообразную форму (рис. 2).

Процесс активного энергетического воздействия структурно проявляется появлением большего числа кристаллических несовершенств. Уровень внутренней объемной энергии материала резко возрастает [7]. Следует отметить, что предыдущая структура передает информацию новой и определяет ее эффективность как результат самоорганизации [8, 9].

Каждый локальный элемент этой структуры наделен простейшими деформационными свойствами: линейной упругостью, идеальной пластичностью.



**Рис. 1.** Наноструктура полированного и протравленного микрошлифа вдоль оси трубы из стали 17ГС после длительной эксплуатации. СТМ



**Рис. 2.** Наноструктура полированного и протравленного микрошлифа перпендикулярно оси трубы из стали 17ГС после длительной эксплуатации. СТМ

тичностью и нелинейной вязкостью. При эксплуатации в исходной структуре тонкопластинчатого перлита происходит устранение избыточного содержания углерода в феррите, повышается дефектность и сфероидизация цементита. Сфероидизация цементита сопутствует процессу залечивания микродефектов металла, т.е. уменьшению поврежденности труб. Наличие феррита (ферромагнитной фазы) и сфероидизированного цементита повышает пластичность. [11, 12]. В соответствии с принципом подчинения синергетическая система переходит в более устойчивое состояние с образованием новых структур.

Таким образом, изменение морфологии перлита осуществляется наличием пластической деформации не только ферритной фазы перлита, но цементитной. При нагружении на межфазных границах в перлите возникает концентрация напряжений из-за не совместимостей упругих деформаций феррита и цементита. В результате образуются диссипативные (фрагментированные) субструктуры в дефектной подсистеме. В сорбитообразном перлите расстояние между цементитными слоями соизмеримо с их толщиной. Кроме того между пластинами цементита имеются ферритные прослойки. Поэтому цементитные пластины в перлитных колониях способны деформироваться без образования поперечных трещин. В процессе нагружения карбида возможно смещение отдельных цементитных слоев вдоль границ с ферритом, что позволяет им деформироваться с малым радиусом кривизны в местах изгиба.

Субструктура не стабильна во времени, поэтому она разрушается с некоторой скоростью. Скорость сопротивления разрушению субструктуры пропорциональна скорости деформации, которая уменьшается с ростом самого сопротивления.

При субструктурных превращениях (неравновесных фазовых переходах) роль информации сохраняется и даже возрастает с помощью образующихся новых диссипативных (фрагментированных) структур. Учитывая, что в субструктуре размер ячеек составляет порядка 2 – 3 нм, структурные превращения в дефектной подсистеме можно классифицировать как наноструктурирование.

Свойства нанокристаллических материалов принято определять размерами отдельных зерен, свойствами граничного слоя, а также коллективным взаимодействием основных структурных составляющих с поверхностными слоями частиц.

Наличие сорбитообразного перлита соответствует известному положению о том, что, чем более высокодисперсная структура, тем выше ее сопротивление разрушению и тем более продол-

жительна стадия распространения трещины. В низкоуглеродистых сталях в условиях малоциклового деформации механизмы релаксации внутренних напряжений независимо от схемы нагружения в ферритных зернах осуществляется путем дислокационного скольжения и последующего зернограничного проскальзывания. При увеличении числа циклов схема нагружения оказывает существенное влияние на механизмы релаксации внутренних напряжений. Таким образом, эксплуатационные условия труб магистральных трубопроводов характеризуются многопараметрическим взаимодействием с внешней средой (в том числе различной природы), приводящим к развитию различных механизмов структурных превращений в малоуглеродистых сталях с ферритно-перлитной структурой.

Процессы исчерпания ресурса являются многомерными, многостадийными, сильно нелинейными, взаимосвязанными и в значительной степени (чаще непосредственно) зависящими от конкретных условий изготовления и эксплуатации индивидуального объекта.

Выполненные на микроуровне исследования на основании структурной модели позволяют понять причины процесса разрушения материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов С. Ю., Колубаев А.В. Развитие деформации на различных масштабных уровнях в поверхностных слоях при трении. // Деформация и разрушение материалов. - 2008. - № 1. С. 21-27.
2. Тарасов С.Ю. Локализация деформации при трении // МиТОМ. - 2006. - № 5. С. 38-42.
3. Батаев А.А., Тушинский Л.И., Батаев В.А. Особенности разрушения цементита при деформации сталей со структурой пластинчатого перлита // ФММ. 1995. Т. 80. Вып. 5. С. 148 -154.
4. Пенкин А.Г., Терентьев В.Ф., Маслов Л.Г. Оценка остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической твердости. М.: Интерконтактнаука, 2004. - 70 с
5. Балина О.В., Ковенский И.М., Насонов В.В. Структура и свойства материалов магистральных трубопроводов после механического нагружения // Электронная конференция научно-технической программы "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники". Тезисы докладов. – М.: МЭИ. – 2004. – С. 86.
6. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Мочалина Н.С. Макро-, мезо- и наноструктурные основы создания оптимальных структур углеродистых сталей при регулируемом термопластическом упрочнении // МиТОМ. -2008. - № 5. С. 31 – 36.
7. Тушинский Л.И. Структурная теория конструкционной прочности материалов.- Новосибирск.: Изд-во НГТУ. 2004. 440 с.
8. Кабалдин Ю.Г., Муравьев С.Н. Информационные модели структурообразования и усталостного разрушения металлических материалов // Вестник маши-

- ностроения. – 2007. - №8. С. 46-50.
9. *Николис Г., Пригожин И.* Структурообразование в неравновесных системах. - М.: Мир. – 1979. 512 с.
10. *Иванова В.С.* Введение в междисциплинарное наноматериаловедение. – М.: Сайнс-пресс. 2005. 208 с.
11. *Дьяченко С.С.* Фазовые превращения и наследственность в железоуглеродистых сплавах // Металловедение и термическая обработка металлов.- 1991. -№ 6. С. 24-26.
12. *Виноградова Л.А.* Влияние морфологии перлитной структурной составляющей на эксплуатационные свойства трубопроводов // Прогрессивные технологии и оборудование при обработке металлов давлением: научные труды Всероссийского Совещания обработчиков давлением, г. Ульяновск, 14-16 мая 2007.- Ульяновск: УлГТУ, 2007. – С. 44 - 45.

**SERVICEABILITY OF PIPES OF TRUNK PIPELINES MADE OF LOW-CARBON SILICON-MANGANESE STEELS WHEN IRREGULAR LOADING DUE TO OF INTERPHASE BONDS IN PIPE WALL (PIPE “BODY”)**

© 2009 L.A. Vinogradova

Ulyanovsk State Technical University

The question of change of the structure of interphone bonds due to contact interaction of the material of a pipe of the trunk pipeline with the hydrocarbon product being transported.

Key words: interphone bonds, contact interaction, material of a pipe, trunk pipeline, hydrocarbon product.