



The reasons of low impact strength and high temperature of viscous-fragile transition of the basic metal of gas pipe from steel 17G1C are investigated. It is established that high fragility of metal of pipe is caused by release of the cementite extended inclusions at the border perlite-ferrite by metallographic researches with application of methods of light and dark field.

А. Г. АНИСОВИЧ, С. М. КРАСНЕВСКИЙ, М. К. СТЕПАНКОВА, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

УДК 669.21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМНОПОЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ

Выявление причин, приводящих к снижению трещиностойкости и, как следствие, разрушению газонефтепроводных труб, работающих в условиях высоких давлений и отрицательных температур, является актуальной задачей. Основной характеристикой материала труб, определяющей его склонность к хрупкому разрушению, служит ударная вязкость. Как известно, этот показатель механических свойств стали – структурно чувствительный фактор. В связи с этим немаловажное значение при определении склонности трубной стали к хрупкому разрушению имеет ее металлографическое исследование.

В данной работе методами оптической металлогрaфии исследовали два фрагмента бывших в эксплуатации труб магистрального газопровода, изготовленных из низколегированной марганец-кремниевой стали перлитного класса марки 17Г1С. Основной металл одной из этих труб (труба 1) имел ударную вязкость при температуре испытания минус 40 °С (KCU^{-40}) в пределах нормативных значений, а температура его вязкохрупкого перехода T_{50} находилась в области низких температур (минус 30 °С). Для трубы 2 показатель KCU^{-40} не превышал нижний предел нормативных значений для магистральных газонефтепроводных труб, а температура T_{50} лежала в области положительных температур (20 °С). Приведенные данные свидетельствуют о том, что основной металл трубы 2 в области температур эксплуатации находится в хрупком состоянии. Разрушение такой трубы может быть реализовано спонтанно, при штатных эксплуатационных давлениях и температурах, поскольку хрупкое разрушение является низкоэнергетическим и происходит при напряжениях ниже напряжений текучести металла.

Исследование и получение изображений микроструктур осуществляли на металлографическом комплексе на базе оптического микроскопа Микро-200 при увеличениях от 100 до 2000 с применением методов светлого и темного поля. Анализ по методу светлого поля проводили с использованием лучей, выйдя из осветительной системы микроскопа и отразившись от поверхности металлографического шлифа, попадают в объектив и создают изображение структуры. При этом используется весь световой пучок, создаваемый источником света, а участки шлифа, расположенные перпендикулярно оси объектива (поверхность зерен, различные фазы), ярко освещены. Темными будут выглядеть границы зерен и фаз, трещины, поры, несплошности и т. д., т. е. все те объекты, поверхность которых расположена под углом к плоскости шлифа.

Метод исследования в темном поле основан на освещении объекта полым конусом света, что достигается применением специальной кольцевой системы – эпи-конденсора [1]. Таким образом, центральные лучи не попадают на шлиф, а изображение формируется наклонными лучами. При этом в объектив попадает только свет, отраженный от наклонных участков шлифа: границ зерен и фаз, различных включений, располагающихся над плоскостью шлифа, которые и будут в основном отражать свет. Изображение структуры воспринимается как обратное тому, которое наблюдается при освещении на светлом поле: поверхность зерен является темной, детали структуры, которые были темными при светлопольном освещении, в «темном поле» ярко освещены. Темнопольное изображение широко применяется, в частности, для исследования неметаллических включений [2, 3]. На рис. 1 приве-

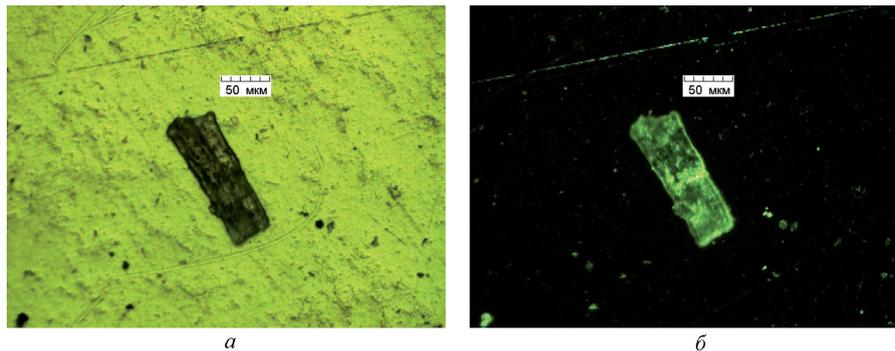


Рис. 1. Остеклованное включение в быстрорежущей стали: *а* – светлопольное освещение; *б* – темнопольное освещение

дена фотография остеклованного включения в стали. На светлопольном изображении (рис. 1, *а*) нетравленная матрица имеет светлую окраску, а включение, поверхность которого не является плоской, интенсивно рассеивает свет и поэтому выглядит темной. При освещении по принципу темного поля (рис. 1, *б*) поверхность включения в наибольшей степени отражает свет, а матрица является неосвещенной.

Метод исследования в темном поле не новый. Он хорошо известен металловедам. Как правило, металловеды в своей практике пользуются светлопольным освещением для решения тривиальных задач, что в большинстве случаев является достаточным. Тем не менее, очень часто встречаются проблемы, решение которых требует привлечения дополнительных методов. В частности, привлечение темнопольного метода необходимо в связи с исследованиями новых классов материалов или нетрадиционных для металлографии объектов [4].

Предполагалось, что металлографические исследования металла двух труб должны выявить определенные структурные факторы, влияющие на склонность трубы 2 к хрупкому разрушению. Как правило, стандарты по анализу структуры сталей регламентируют проведение исследований при увеличении 100. В настоящее время такое требование не приемлемо, так как методы получения материалов и способов их обработки претерпели существенные изменения. Результатом развития технологий является получение материалов с более дис-

персной структурой, исследование которой требует использования больших увеличений [5, 6]. На светлопольном изображении при увеличениях до 400 существенной разницы в структуре исследуемых фрагментов не наблюдалось (рис. 2). Обе структуры представляют собой феррито-перлитную смесь со строчечным расположением фазовых составляющих. Размер зерна полигонального феррита оценивается 8-м баллом. В структуре присутствуют участки видманштетта, занимающие ~15% площади шлифа. Перлит имеет пластинчатое строение, его среднее количество высокое и равно ~35%.

Видимые отличия в структуре металла труб проявляются при исследовании их по методу темного поля. На рис. 3 видна четкая подсветка нижних краев перлитных полос у трубы 2, в то время как у трубы 1 такого эффекта не наблюдается. Следует отметить, что в данном случае имеет значение увеличение, при котором производится анализ в темном поле. Оптимальным является увеличение 400 (рис. 3, *а, б*), когда светящийся край перлитной полосы фиксируется наиболее четко. При увеличении 800 изображение «размывается» и эффект заметить труднее (рис. 3, *в, г*). Помимо этого, повышение увеличения до 400 позволяет заметить большую степень направленности структуры образца трубы 2 (рис. 3, *б*).

При детальном исследовании с увеличением 2000 обнаружено, что светящаяся окантовка перлитных и частично ферритных зерен в хрупком ме-

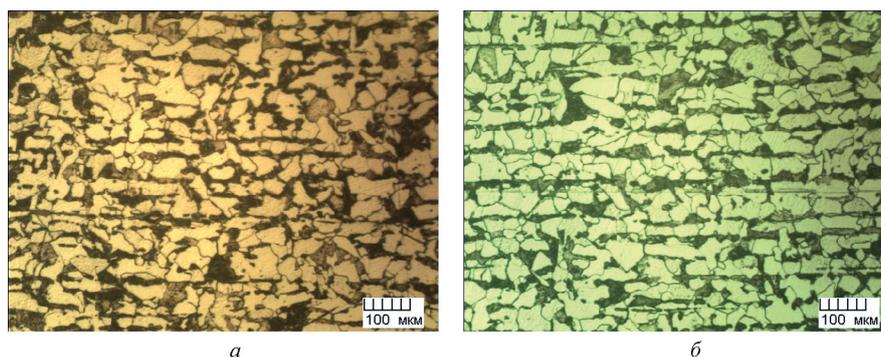


Рис. 2. Микроструктура основного металла трубы 1 (*а*) и трубы 2 (*б*)

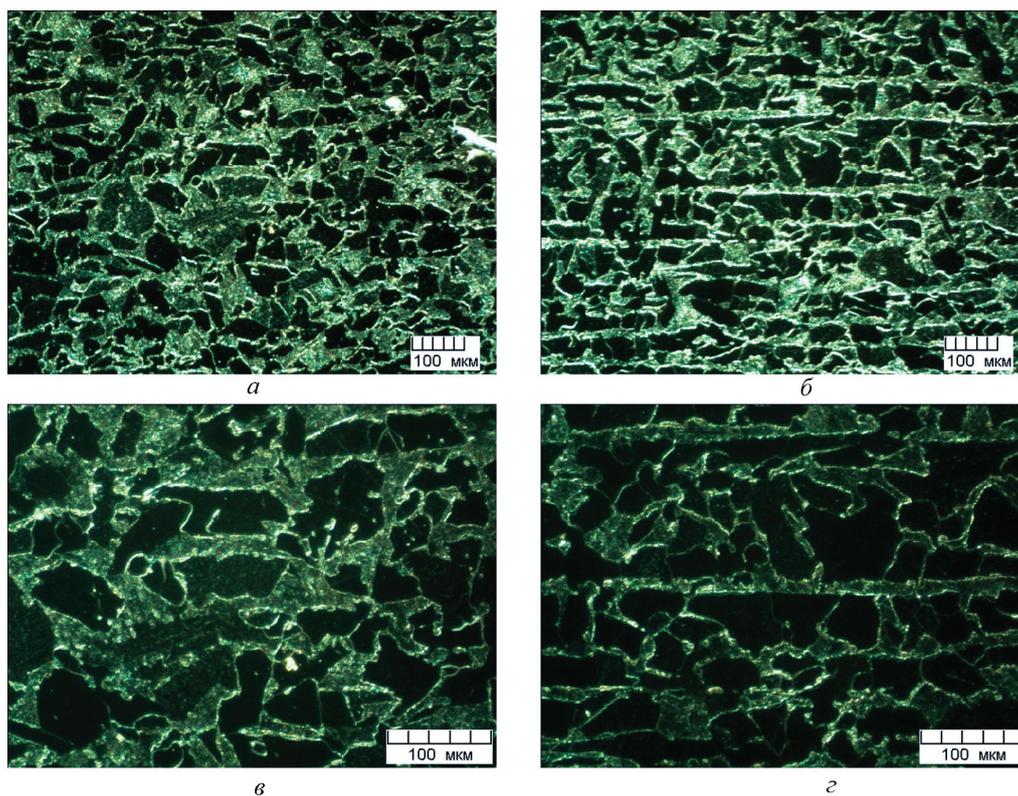


Рис. 3. Микроструктура основного металла трубы 1 (а, в) и трубы 2 (б, г); темнопольное освещение. а, б – $\times 400$; в, г – $\times 800$

тале трубы 2 представлена непрерывными цепочками шириной не более 5 мкм, окаймляющими перлитные и ферритные зерна и идентифицированными нами как структурно свободный цементит (рис. 4). Цепочки цементита по границам пер-

литных и ферритных зерен в трубе 2 обозначены стрелками. Обращает на себя внимание преимущественно одностороннее расположение цементитных строчек, связанное, по всей видимости, с температурно-силовыми условиями формирования

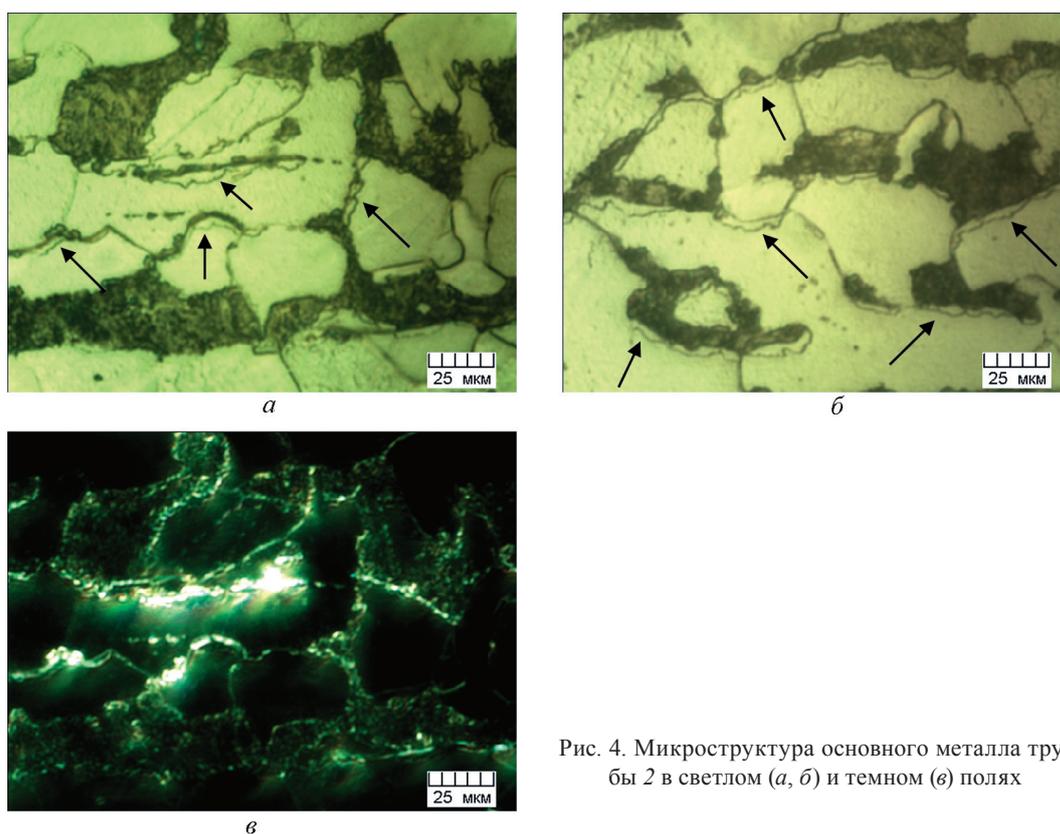


Рис. 4. Микроструктура основного металла трубы 2 в светлом (а, б) и темном (в) полях

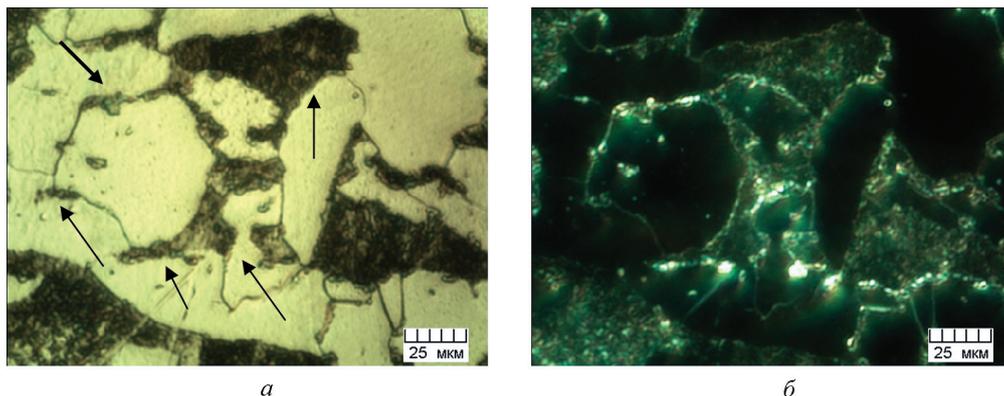


Рис. 5. Микроструктура основного металла трубы 1 в светлом (а) и темном (б) полях

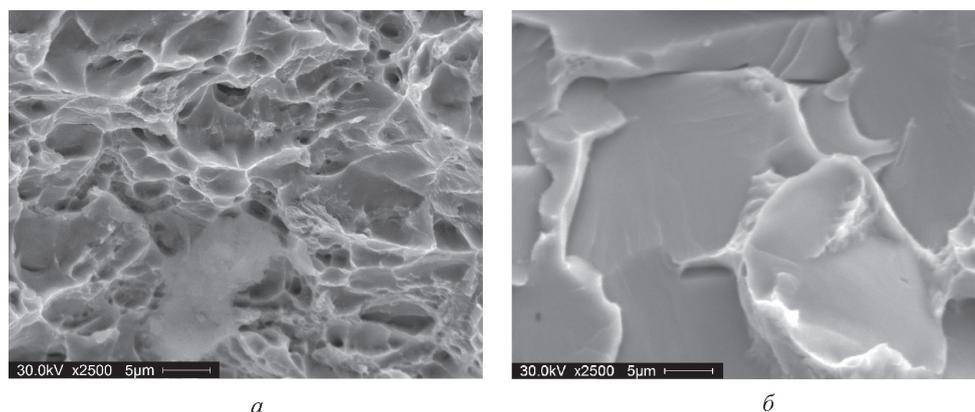


Рис. 6. Фрактограммы изломов ударного изгиба основного металла трубы 1 (а) и трубы 2 (б)

структуры горячекатаного листа, из которого данная труба изготовлена.

Известно, что зернограничное выделение твердой и хрупкой фазы, каковой является цементит, ослабляющей прочность межзеренного сцепления, приводит к резкому падению ударной вязкости и росту критической температуры хрупкости и, следовательно, ведет к охрупчиванию стали.

При исследовании металла трубы 1 непрерывные цепочки цементита не обнаружены. В темном поле светятся отдельные его глобулярные включения, равномерно расположенные в небольших количествах как по границам ферритных и перлитных, так и в теле ферритных зерен (рис. 5). Включения глобулярного структурно свободного цементита по границам и в теле ферритных зерен в трубе 1 обозначены стрелками. Следует отметить, что использование меньшего увеличения при светлом методе анализа затрудняет выявление включений цементита.

Результаты металлографических исследований подтверждаются микрофрактографическими дан-

ными исследований поверхностей разрушения основного металла труб при его ударном изгибе. Излом металла трубы 1, имеющей высокие показатели ударной вязкости и критической температуры хрупкости, при наблюдении на растровом электронном микроскопе имеет ямочное строение (рис. 6, а), что говорит о вязком характере разрушения. Микрофрактограмма излома металла трубы 2 характеризуется достаточно гладкими поверхностями с ручейковым узором и хорошо обозначенными границами зерен (рис. 6, б), что свидетельствует о хрупком межзеренном разрушении, проходящим путем скола по границам зерен.

Результаты проведенного исследования позволяют заключить, что основной причиной хрупкости основного металла газопроводной трубы, изготовленной из стали 17ГС, является структурный фактор в виде зернограничных цементитных прослоек. Данный вывод однозначно подтверждается металлографическими исследованиями темнопольных изображений.

Литература

1. Егорова О. В. Техническая микроскопия. Практика работы с микроскопами для технических целей. С микроскопом на «ты». М.: Техносфера, 2007.
2. Червяков А. Н., Киселев С. А., Рыльникова А. Г. Металлографическое определение включений в стали. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1962.

3. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н. Антипродукция: проблема качества металла // Литье и металлургия. 2009. № 3 (52). С. 127–131.
4. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н. Искусство металлографии: возможности использования темнопольного изображения для анализа структуры металлов // Сб. материалов 4-й междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск, 19–21 октября 2009 г. Кн.1.С. 7–12.
5. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н., М и с у н о П. Н. Определение содержания кислорода в меди методом компьютерного анализа изображений // Литье и металлургия. 2010. № 1–2. С. 306–310.
6. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н., Б и с л ю к Л. В. Определение балла зерна стали компьютерными методами // Литье и металлургия. 2010. № 3. С. 100–104.