

УДК 620.178.74

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-38-44

Влияние длительной эксплуатации на физико-механические свойства и показатели хладостойкости трубной стали 10Г2*

А. А. Хлыбов, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Ю. Г. Кабалдин, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

М. С. Аносов, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Д. А. Рябов, аспирант, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Проведено исследование влияния длительности эксплуатации магистрального газопровода на изменение физико-механических характеристик показателей хладостойкости трубной стали 10Г2.

Установлено, что в процессе длительной эксплуатации стали 10Г2 в составе магистрального газопровода наблюдается изменение структуры металла, при этом происходит перераспределение перлитной составляющей и укрупнение зерен. Получены значения микротвердости исследуемой стали до и после эксплуатации (10, 25, 40 лет). Длительная эксплуатация (40 лет) материала труб приводит к росту значений микротвердости с 1518 до 2786 НВ. Выявлено двукратное снижение значений ударной вязкости стали 10Г2 после старения и эксплуатации в течение 25 лет. Также наблюдается значительное повышение температуры вязкохрупкого перехода, что снижает надежность магистральных трубопроводов. В результате испытаний стали 10Г2 в широком диапазоне температур после 25 лет эксплуатации наблюдается снижение пластичности металла (относительное удлинение уменьшается примерно в 1,6 раза), повышение предела прочности и снижение предела текучести (до 9 %).

Предложена методика неразрушающего контроля деградации механических свойств стали 10Г2 в процессе эксплуатации изделий. Установлена зависимость акустического параметра D , рассчитанного на основе скорости распространения продольных и поперечных упругих волн в металле от срока эксплуатации газовых магистральных труб и температуры вязкохрупкого перехода для стали 10Г2. Показано, что предложенный акустический параметр может выступать в качестве характеристического параметра хладостойкости материала магистральных газопроводов и использоваться при технической диагностике для оценки их остаточного ресурса.

Ключевые слова: техническая диагностика, ударная вязкость, хладостойкость, вязкохрупкий переход, акустический параметр.

Введение

Изучение особенностей эволюции структуры, физико-механических характеристик трубных сталей является актуальным направлением исследования в связи с необходимостью обеспечения надежности их функционирования на протяжении длительного времени [1, 2].

По статистическим данным, протяженность трубопроводов в России достигает порядка 300 тыс. км, и они эксплуатируются в широком диапазоне температур и внешних воздействий, в частности в условиях вечной мерзлоты. Согласно данным [3] значительная часть трубо-

проводов функционирует свыше 20 лет, и более чем 15 % газопроводов уже выработали свой ресурс, который, как правило, не должен превышать 30 лет эксплуатации.

В качестве основного конструкционного материала магистральных трубопроводов применяются низкоуглеродистые и низколегированные кремнемарганцовистые стали [4]. Одной из особенностей данных сталей является их старение в процессе функционирования, что приводит к значительными изменениям их физико-механических характеристик [5–7]. В связи с этим возникает необходимость изучения процессов, протекающих в металле в период экс-

© Хлыбов А. А., Кабалдин Ю. Г., Аносов М. С., Рябов Д. А., 2021

* Исследование выполнено по гранту РФФИ № 19-19-00332 «Разработка научно обоснованных подходов и аппаратно-программных средств мониторинга поврежденности конструкционных материалов на основе подходов искусственного интеллекта для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов в арктических условиях».

плуатации, их текущего состояния и прогнозирования остаточного ресурса.

Особенно остро проблема повышения эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов стоит для регионов Крайнего Севера и Арктики из-за воздействия экстремально низких температур и динамических нагрузок со стороны грунта (морозное пучение, оттаивание, оползневые процессы и процессы обводнения-заболачивания), вызывающих значительные деформации трубопроводов, в связи с чем повышается риск возникновения аварий и снижается ресурс трубопроводной системы в целом [8, 9].

Основными направлениями в области повышения эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов являются различные способы неразрушающего контроля и мониторинга технического состояния. Одним из наиболее перспективных и чувствительных методов неразрушающего контроля является ультразвуковой контроль материала [10].

Целью настоящего исследования является оценка влияния длительной эксплуатации на изменение физико-механических свойств и хладостойкости трубной стали 10Г2 в составе магистрального газопровода.

Материалы и методы исследования

В качестве материала для исследования была выбрана сталь 10Г2, применяемая для изготовления магистральных газопроводов [11]. Химический состав стали: С – 0,16; Si – 0,25; Mn – 1,42; P – 0,015; S – 0,012; Ni – 0,049; Cu – 0,051; Al – 0,043; Ti – 0,039; V – 0,049; Co – 0,23; W – 1,76; Pb – 0,021; Fe – 95,7.

Для проведения исследований изготавливались образцы, полученные в различных направлениях прокатки из труб до и после эксплуатации в составе магистральных газопроводов. Были получены 4 группы образцов на ударный изгиб и растяжение, имеющие одинаковую термическую обработку в стадии поставки и соответствующие химическому составу, показанному выше. Образцы маркировались следующим образом:

- 1 – образец в исходном состоянии;
- 2 – после 10 лет эксплуатации;
- 3 – после 25 лет эксплуатации;
- 4 – после 40 лет эксплуатации.

Одной из наиболее важных характеристик трубных сталей является их ударная вязкость [12], оказывающая значительное влияние на надежность магистральных трубопроводов, в частности при воздействии на них динамических нагрузок. В связи с этим были проведены испы-

тания на ударный изгиб при различных температурах испытания ($-100...20$ °С).

Исследования на ударный изгиб проводились на образцах типа Шарпи с V-образным концентратором (рабочее сечение 8×10 мм), изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 9454–78.

Испытания на ударный изгиб проводились на маятниковом копре МК-300 (запас потенциальной энергии копра 450 Дж) с использованием разработанного устройства для охлаждения образцов, принцип работы которого подробно описан в литературе [13].

Для регистрации температуры в процессе охлаждения образцов использовался датчик pt100 (контактного типа), диапазон температур – $196...+100$ °С (± 1 °С).

Общий диапазон температур испытаний – $80...+20$ °С.

Испытания на растяжение проводились на разрывной машине Tinius Olsen H100KU. Испытывали образцы, изготовленные в соответствии с требованиями ГОСТ 11701–84.

Исследование микроструктуры проводилось на оптическом микроскопе KYENCE-VHX 1000. Фрактографический анализ проводился с применением растрового электронного микроскопа JSM-3U. Для определения температуры вязкохрупкого перехода исследовались изломы образцов, испытанных при различных температурах. Определялось количество вязкой и хрупкой составляющих в изломе согласно ГОСТ Р ИСО 148-1–2013. За температуру вязкохрупкого перехода (T_{50}) принималась температура, при которой количество вязкой и хрупкой составляющих – 50 % от площади излома.

Для определения микротвердости образцов был использован микротвердомер ПМТ-3М.

Для акустических измерений применялся измерительно-вычислительный акустический комплекс (ИБК) «Астрон». Прибор позволяет измерять время распространения упругих импульсов с точностью 10^{-9} с.

В работе был использован датчик продольных и поперечных волн. Номинальная частота датчиков – 5 МГц. Диаметр пьезопластины составляет 5 мм. При рабочей частоте 5 МГц работает в ближней зоне. Все измерения производим в одной точке для одной и той же толщины. Дальнейшая обработка полученных результатов проводится относительно начального состояния (на образцах, соответствующих состоянию поставки труб). Так как толщина образцов не меняется, то можно считать, что изменения скорости распространения упругих волн связаны со

структурными изменениями контролируемого материала.

В работе использовались импульсное возбуждение и прием упругих импульсов. В качестве опорного импульса использовался первый отраженный импульс, относительно которого проводилось измерение скорости путем сравнения его характеристик с характеристиками последующих импульсов. Это позволяет учитывать только эффекты, связанные с пройденным путем упругого импульса в контролируемой среде.

Скорость ультразвуковой волны C при прохождении через исследуемый образец определялась по следующей формуле:

$$C = \frac{2L}{t},$$

где L – толщина образца, м; t – время прохождения соответствующего типа волны через обра-

зец, с. Погрешность измерения скорости составляет ± 2 м/с.

В качестве акустической характеристики материала, учитывающей изменение времени распространения ультразвуковых волн в контролируемой точке (τ_1, τ_2 и c_1, c_2 – время и скорость поперечной волны с продольной и поперечной поляризацией, а τ_3 и c_3 – продольной относительно образца) использовался безразмерный параметр D . Учитывая, что толщина (h) контролируемой точки не изменяется, акустический параметр D будем определять в следующем виде:

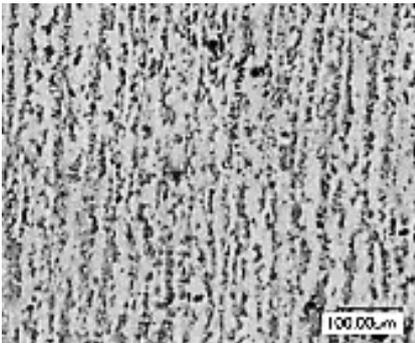
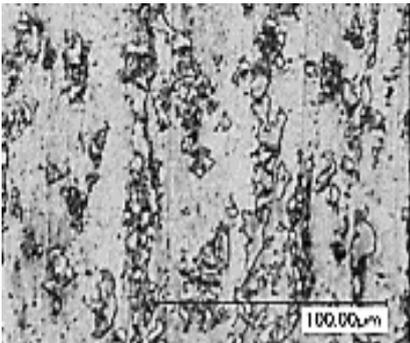
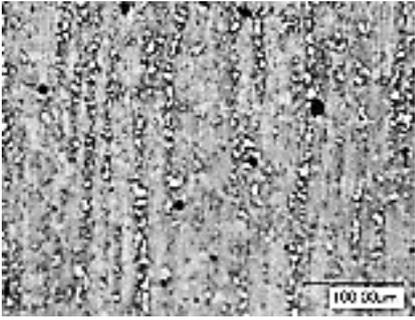
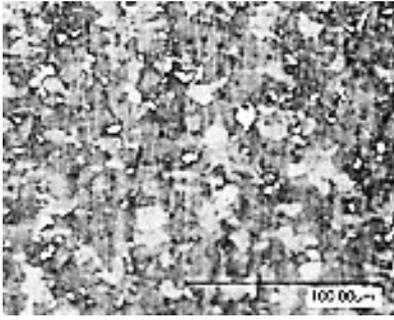
$$D_{\tau} = \frac{(2h/c_t^{\parallel}) + (2h/c_t^{\perp})}{2h/c_t} = \frac{\tau_t^{\parallel} + \tau_t^{\perp}}{\tau_t}.$$

Основные результаты и выводы

Данные микроструктурных исследований для образцов из стали 10Г2, вырезанных из газопровода, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты микроструктурных исследований стали 10Г2

Table 1. Results of microstructural studies of steel 10G2

№ образца	×300	×1000
1		
3		

Как показал анализ полученных структур металла (см. табл. 1), в процессе длительной эксплуатации стареющей стали происходит перераспределение зерен в структуре, при этом зерно укрупняется.

Результаты измерения микротвердости (табл. 2) свидетельствуют о значительном упрочнении стали 10Г2 в процессе эксплуатации,

прежде всего за счет увеличения перлитной составляющей в структуре металла (см. табл. 1).

На рисунке 1 показаны зависимости ударной вязкости от температуры испытания для исследуемых групп образцов.

Из полученных зависимостей ударной вязкости видно, что с увеличением срока эксплуатации магистральных труб из стали 10Г2 наблю-

дается значительное снижение ударной вязкости. Так, через 25 лет эксплуатации ударная вязкость металла снижается в 2 раза по сравнению с исходным состоянием.

На основе полученных данных и в результате фрактографических исследований изломов образцов выявлена температура вязкохрупкого перехода исследуемых материалов (табл. 3).

Таким образом, наряду со снижением ударной вязкости наблюдается повышение температуры вязкохрупкого перехода, что значительно снижает надежность магистральных трубопроводов и увеличивает вероятность хрупкого разрушения при появлении даже небольших микротрещин.

Результаты испытаний на растяжение образцов в исходном состоянии (обр. 1) и после 25 лет эксплуатации (обр. 3) представлены в таблице 4.

Таблица 2. Результаты испытаний стали 10Г2, вырезанной из трубы газопровода, на микротвердость

Table 2. Microhardness test results of 10G2 steel cut from a gas pipeline

Маркировка образца	Средние значения микротвердости, HV, МПа
1 (исх.)	1518
2 (10 лет экспл.)	1926
3 (25 лет экспл.)	2634
4 (40 лет экспл.)	2786

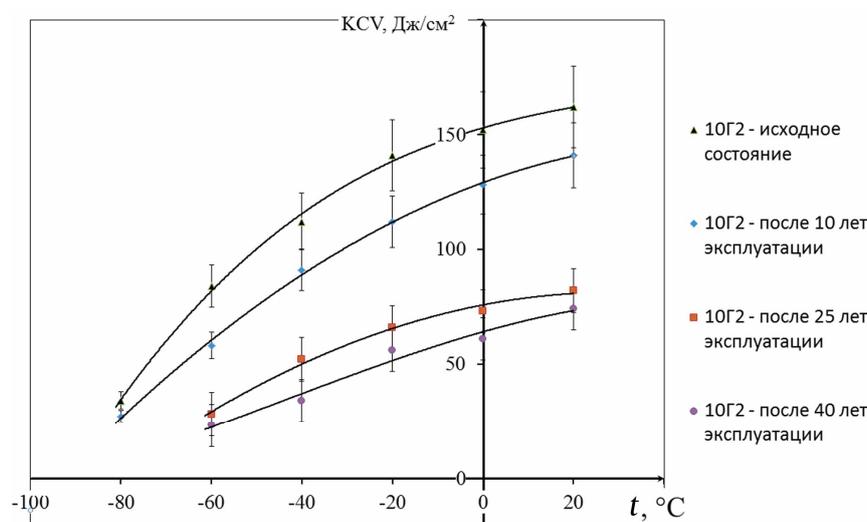


Рис. 1. Зависимости ударной вязкости от температуры для стали 10Г2 до и после длительной эксплуатации в составе газопровода

Fig. 1. Dependences of impact toughness on temperature for 10G2 steel before and after a certain service life as part of a gas pipeline

Таблица 3. Температура вязкохрупкого перехода исследуемых образцов

Table 3. Tough-brittle transition temperature of the test samples

Образец, №	Температура, T_{50} , °C
1	-42
2	-37
3	-24
4	-18

В широком диапазоне температур испытаний наблюдается снижение пластичности металла (более чем в полтора раза), повышается предел прочности и снижается предел текучести (примерно на 8...9 %). Снижение предела текучести и ударной вязкости указывает на охрупчивание стали в процессе длительной эксплуатации, что значительно снижает надежность магистральных газопроводов.

Таблица 4. Результаты испытаний на растяжение

Table 4. Tensile test results

Материал	$T_{исп}$, °C	δ , %	$\delta_{0,2}$, МПа	δ_b , МПа
10Г2 (образец № 1)	+20	22	347	481
	-20	20	369	498
	-40	16	412	528
	-60	12	426	562
	-100	8	438	616
10Г2 (образец № 3)	+20	14	318	520
	-20	11	338	542
	-40	10	352	580
	-60	8	371	612
	-100	6	392	639

Полученные данные по изменению механических свойств стали 10Г2 коррелируют с результатами проведенных исследований процесса деградации ряда других металлов, в частности при низких температурах [14, 15].

Для разработки неразрушающего метода технической диагностики магистральных трубопроводов с использованием ультразвукового контроля проведена регистрация ультразвуковых волн с определением их параметров – времени и скоростей распространения, а также определение акустического параметра D . В таблице 5. показаны результаты акустических измерений стали 10Г2 в исходном состоянии и после длительной эксплуатации в составе газопровода.

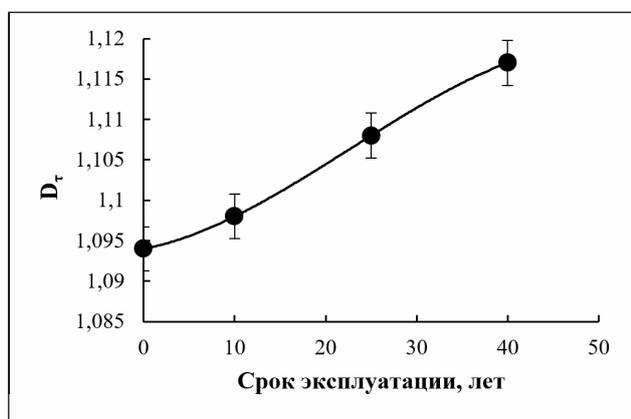
На рисунке 2 показаны зависимость акустического параметра D от длительности эксплуатации газовых магистральных труб (а) и связь

температуры вязкохрупкого перехода с параметром D (b) для стали 10Г2.

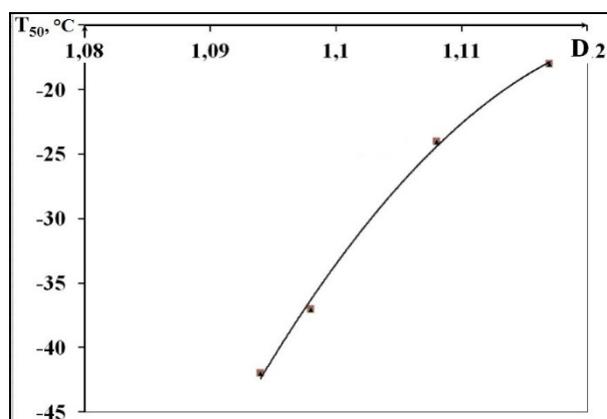
Таблица 5. Результаты акустических измерений стали 10Г2 до и после эксплуатации в составе газопровода

Table 5. Results of acoustic measurements of steel 10G2 before and after operation as part of a gas pipeline

Длительность эксплуатации, лет	c_1 , м/с	c_2 , м/с	c_3 , м/с	D
0	3207	3274	5925	1,094
10	3205	3295	5919	1,098
25	3201	3314	5881	1,108
40	3199	3351	5862	1,117



a



b

Рис. 2. Зависимость акустического параметра D от срока эксплуатации газовых магистральных труб (а) и температуры вязкохрупкого перехода (b) стали 10Г2

Fig. 2. Dependence of the acoustic parameter D on the service life of gas main pipes (a) and the temperature of the ductile-brittle transition (b) of steel 10G2

Полученные результаты (рис. 2) отражают связь акустического параметра со сроком службы и температурой вязкохрупкого перехода.

Таким образом, акустический параметр может выступать в качестве характеристического параметра холодостойкости материала магистральных газопроводов и использоваться при неразрушающем контроле металла.

Выводы

В процессе длительной эксплуатации стали 10Г2 в составе магистрального газопровода наблюдаются значительные изменения, а именно:

1. Изменение структуры материала (формируется структура с заметно более крупным размером зерна и неоднородным распределением) и физико-механических характеристик. По истечении 25 лет эксплуатации стали 10Г2 наблюдается снижение ударной вязкости в 2 раза. В широком диапазоне температур испытаний наблюдается также снижение пластичности ме-

талла (примерно в 1,6 раза), повышение предела прочности и снижение предела текучести (примерно на 8...9 %). Снижение предела текучести и ударной вязкости указывает на охрупчивание стали в процессе эксплуатации.

2. Наблюдается значительное повышение температуры вязкохрупкого перехода. Так через 40 лет эксплуатации стали 10Г2 в составе газопровода температура вязкохрупкого перехода составляет -18°C , что на 24°C выше, чем в исходном состоянии.

3. В качестве неразрушающего метода контроля состояния материала предложен ультразвуковой метод с определением акустического параметра D . Показана связь акустического параметра со сроком службы металла и температурой вязкохрупкого перехода. Таким образом, параметр D может выступать в качестве характеристического параметра холодостойкости материала магистральных газопроводов.

Библиографические ссылки

1. Сыромятникова А. С. Эксплуатационная деградация металла труб магистральных газопроводов Севера / Российская академия наук, Сибирское отделение; Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН; Министерство образования и науки РФ; Северо-Восточный федеральный университет, 2017. 97 с. ISBN 978-5-7692-1566-7.
2. Харионовский В. В. Надежность магистральных газопроводов: становление, развитие и современное состояние // Газовая промышленность. 2019. № 1 (779). С. 56–68.
3. Ланига И. Р., Щипачев А. М. Искусственные нейронные сети для оценки остаточного ресурса газонефтепроводов // Деловой журнал *neftegaz.ru*. 2019. № 12 (96). С. 46–52.
4. Lisin Y.V., Neganov D.A., Studenov E.P., Skorodumov S.V., Antipov G.E. A comprehensive study of steel properties in trunk oil and petroleum product pipelines with various service lives. *PST*, 2017, vol. 1, no. 3, pp. 195–207.
5. Науменко В. В. Исследование склонности низкоуглеродистой стали, микролегированной ванадием и азотом, к деформационному старению // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 7. С. 87–96.
6. Wiskel J.B., Ma J., Ivey D.G., Henein H. An Investigation of Aging Behaviour in Microalloyed Steel (X70) UOE Pipe. *HSLA Steels 2015, Microalloying 2015 & Offshore Engineering Steels 2015*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48767-0_87.
7. Изучение деформационного старения в стали марки 10Г2 после различных обработок / А. Р. Хамбалеев, Г. В. Шапов, О. В. Селиванова, В. М. Фарбер // Материаловедение и металлофизика легких сплавов : сборник материалов и докладов IV Международ. школы для молодежи. 2019. С. 144–146.
8. Большаков А. М., Андреев Я. М. Проблемы повышения эксплуатационной надежности линейных магистральных газопроводов в условиях криолитозоны // Газовая промышленность. 2018. № 5 (768). С. 62–68.
9. Научные основы хладноломкости конструкционных сталей с ОЦК-решеткой и деградация их структуры при эксплуатации в условиях низких температур / В. Е. Панин [и др.] // Физическая мезомеханика. 2016. Т. 19, № 2. С. 5–14.
10. Khlybov A.A., Ryabov D.A. Assessment of residual stresses in specimens of ferritic-pearlitic steel with austenitic cladding. *Metal Science and Heat Treatment*, 2019, vol. 61, no. 1-2, pp. 114–119.
11. Зарипов Р. Ф., Коробков Г. Е. Возможность использования низкоуглеродистых низколегированных трубных сталей в арктических условиях // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса : материалы VIII Междунар. молодежной науч. конф. Уфа : РИЦ БашГУ, 2018. С. 142–147.
12. Maruschak P.O., Danyliuk I.M., Vuherer T. Impact Strength of Maingas Pipeline Steel After Prolonged Operation. *Metallurgist*, 2015, no. 59, pp. 324–329. <https://doi.org/10.1007/s11015-015-0104-7>.
13. Кабалдин Ю. Г., Аносов М. С., Зиновьев Ю. А. Исследование хладостойкости материалов для ответственных узлов технических средств, работающих при низких температурах // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2016. Т. 4, № 2. С. 14–17.
14. Проблемы обеспечения безопасной эксплуатации тележек грузовых вагонов при отрицательных температурах / А. А. Хлыбов, Ю. Г. Кабалдин, М. С. Аносов, Д. А. Рябов, В. И. Сентюрева // *Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2019. Т. 22, № 4. С. 18–26. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-18-26.
15. Зарипов Р. Ф., Коробков Г. Е. Изменение механических свойств арктических трубопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. № 2 (124). С. 52–61. DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-2-52-61.

References

1. Syromyatnikova A.S. [Operational degradation of metal pipes of main gas pipelines of the North]. *Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov SB RAS, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, North-Eastern Federal University*, 2017, 97 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-7692-1566-7.
2. Kharionovskiy V.V. [Reliability of main gas pipelines: formation, development and current state]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2019, no. 1, pp. 56–68 (in Russ.).
3. Lapiga I.R., Shchipachev A.M. [Artificial neural networks for assessing the residual resource of gas and oil pipelines]. *Delovoy zhurnal neftegaz.ru*, 2019, no. 12, pp. 46–52 (in Russ.).
4. Lisin Y.V., Neganov D.A., Studenov E.P., Skorodumov S.V., Antipov G.E. A comprehensive study of steel properties in trunk oil and petroleum product pipelines with various service lives. *PST*, 2017, vol. 1, no. 3, pp. 195–207.
5. Naumenko V.V. [Investigation of the tendency of low-carbon steel microalloyed with vanadium and nitrogen to deformation aging]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnikheskoi i ekonomicheskoi informatsii*, 2017, no. 7, pp. 87–96 (in Russ.).
6. Wiskel J.B., Ma J., Ivey D.G., Henein H. An Investigation of Aging Behaviour in Microalloyed Steel (X70) UOE Pipe. *HSLA Steels 2015, Microalloying 2015 & Offshore Engineering Steels 2015*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48767-0_87.
7. Khambaleev A.R., Shchapov G.V., Selivanova O.V., Farber V.M. [Study of deformation aging in 10G2 steel after different treatments]. *Materialovedeniye i metallofizika legkikh splavov. Sbornik materialov i докладov IV Mezhdunarodnoy shkoly dlya molodezhi* [Materials science and metal physics of light alloys. Proc. of the IV of the International School for Youth], 2019, pp. 144–146 (in Russ.).

8. Bolshakov A.M., Andreev Ya.M. [Problems of increasing the operational reliability of linear gas pipelines in the permafrost zone]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2018, no. 5, pp. 62-68 (in Russ.).

9. Panin V.E. [Scientific basis of cold brittleness of structural steels with bcc lattice and degradation of their structure during operation at low temperatures]. *Fizicheskaya mezomekhanika*, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 5-14 (in Russ.).

10. Khlybov A.A., Ryabov D.A. Assessment of residual stresses in specimens of ferritic-pearlitic steel with austenitic cladding. *Metal Science and Heat Treatment*, 2019, vol. 61, no. 1-2, pp. 114-119.

11. Zaripov R. F., Korobkov G. E. [Possibility of using low-carbon low-alloy pipe steels in Arctic conditions]. *Science-intensive technologies in solving problems of the oil and gas complex: mater. VIII Int. youth scientific. conf. Ufa: RITs BashGU*. 2018. pp. 142-147.

12. Maruschak P.O., Danyliuk I.M., Vuherer T. Impact Strength of Maingas Pipeline Steel After Prolonged Operation. *Metallurgist*, 2015, no. 59, pp. 324-329. <https://doi.org/10.1007/s11015-015-0104-7>.

13. Kabaldin Yu.G., Anosov M.S., Zinoviev Yu.A. [Research on the cold resistance of materials for critical units of technical equipment operating at low temperatures]. *Mashinostroenie: setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 14-17.

14. Khlybov A.A., Kabaldin Yu.G., Anosov M.S., Ryabov D.A., Sentyureva V.I. [Problems of Ensuring Safe Operation of Freight Car Bogies at Subzero Temperatures]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 18-26 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-18-26.

15. Zaripov R.F., Korobkov G.E. [Changes in the mechanical properties of the Arctic pipelines]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov*, 2020, no. 2, pp. 52-61 (in Russ.). DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-2-52-61.

Influence of Long-Term Operation on Physical and Mechanical Properties and Cold Resistance Indicators of Pipe Steel 10G2

A.A. Khlybov, DSc in Engineering, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Yu.G. Kabaldin, DSc in Engineering, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

M.S. Anosov, PhD in Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

D.A. Ryabov, Post-graduate, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

The purpose of this study is to assess the effect of long-term operation on the change in the physical and mechanical properties and cold resistance of 10G2 pipe steel as part of the main gas pipeline.

It was found that in the course of long-term operation of 10G2 steel in the main gas pipeline, a change in the metal structure and a decrease in impact toughness by more than 2 times are observed. Along with a decrease in toughness, there is a shift in the temperature of the ductile-brittle transition to the region of positive temperatures, which significantly reduces the reliability of main pipelines and increases the likelihood of brittle fracture, especially when small microcracks appear. As a result of tests of 10G2 steel in a wide temperature range after 25 years of operation, there is a decrease in the ductility of the metal (the relative elongation decreases by about 1.6 times), an increase in the tensile strength and a decrease in the yield stress (by about 8-9 %). The dependence of the acoustic parameter D, calculated on the basis of the velocity of propagation of longitudinal and transverse elastic waves in the metal, on the service life of gas main pipes and on the temperature of the ductile-brittle transition for steel 10G2 has been established. It is shown that the acoustic parameter can act as a characteristic parameter of the cold resistance of the material of main gas pipelines and can be used for nondestructive testing.

Keywords: technical diagnostics, impact strength, cold resistance, ductile-brittle transition, acoustic parameter.

Получено 01.02.2021

Образец цитирования

Влияние длительной эксплуатации на физико-механические свойства и показатели хладостойкости трубной стали 10G2 / А. А. Хлыбов, Ю. Г. Кабалдин, М. С. Аносов, Д. А. Рябов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С. 38-44. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-38-44.

For Citation

Khlybov A.A., Kabaldin Yu.G., Anosov M.S., D.A. Ryabov. [Influence of Long-Term Operation on Physical and Mechanical Properties and Cold Resistance Indicators of Pipe Steel 10G2]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 38-44 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-38-44.