

СВАРКА, РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ
WELDING, RELATED PROCESSES AND TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 621.785.616

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-19-28

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ
ПРЯМОШОВЫХ И БЕСШОВНЫХ ТРУБ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

**Абабков Николай Викторович¹, Пимонов Максим Владимирович¹, Левашова Елена Евгеньевна¹,
Щепетков Алексей Владимирович¹, Сивушкин Александр Сергеевич¹,
Сыркин Павел Александрович²**

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

² ООО «ЭнергоТранзит»

* для корреспонденции: anv.tma@kuzstu.ru

Аннотация.

Надежность и долговечность тепловых сетей во многом зависят от качества труб, из которых они собраны. Преждевременный выход из строя труб тепловых сетей является причиной аварий и нежелателен для коммунального хозяйства. В статье выполнены исследования механических свойств (условный предел текучести, временное сопротивление разрушению, относительное удлинение и ударная вязкость), микроструктуры, а также приведен анализ результатов рентгенографического контроля и испытаний на стойкость к коррозии образцов металла, полученных из прямошовных сварных и бесшовных труб. Основное количество образцов, представленных в работе, изготовлено из стали 20, также имеется один образец из стали 09Г2С. По результатам сравнения механических свойств установлено, что все трубы соответствуют требованиям нормативно-технической документации. По результатам рентгенографического контроля дефекты в сварном шве выявлены только в образце №7. По результатам металлографических исследований образцов установлено наличие у всех образцов прямошовных труб дефектов сварки – наплыты в усилении шва. Также в усилении швов обнаружены газовые полости, поры и микротрешины. Наличие таких дефектов может привести к увеличению скорости развития коррозии в металле. Исследования на коррозионную стойкость показали, что наиболее стойким является образец из стали 09Г2С, что объясняется наличием легирующих элементов, для труб из стали 20 показатели коррозионной стойкости довольно близки. Анализ полученных результатов позволяет рекомендовать для использования в тепловых сетях бесшовные трубы, в которых отсутствуют дефекты, которые свойственны прямошовным сварным трубам, являются концентраторами напряжений и могут приводить к более быстрому выходу из строя.



Информация о статье

Поступила:

29 сентября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2025 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2025 г.

Опубликована:

22 декабря 2025 г.

Ключевые слова:

микроструктура,
механические
характеристики,
неразрушающий контроль,
прямошовные сварные трубы,
бесшовные трубы, дефект

Для цитирования: Абабков Н.В., Пимонов М.В., Левашова Е.Е., Щепетков А.В., Сивушкин А.С., Сыркин П.А. Исследование механических свойств и микроструктуры прямошовных и бесшовных труб тепловых сетей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 6 (172). С. 19-28. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-19-28. EDN: CFCDIO

Введение

Надежность и долговечность тепловых сетей во многом зависит от качества труб, из которых они собраны [1]. Одним из распространенных решений являются прямошовные сварные трубы из углеродистой стали [2, 3]. Несмотря на то, что технология их изготовления кажется отработанной [4, 5], в реальных условиях эксплуатации возникают проблемы – ухудшение механических свойств [6], развитие коррозии и дефекты в сварных соединениях [7, 8]. Особенно остро эти вопросы стоят в условиях резких температурных колебаний и агрессивного воздействия окружающей среды [9, 10]. Изучение структуры и свойств сварных

Таблица 1. Типоразмеры труб
Table 1. Pipe sizes

№ образца	Типоразмер (мм)	Комментарий
1	89×5	Прямошовная
2	108×5	Прямошовная
3	159×6	Прямошовная
4	219×6	Бесшовная
5	325×7	Прямошовная
6	426×8	Прямошовная
7	530×8	Прямошовная
8	377×10	Бесшовная

соединений имеет большое практическое значение. Важно понимать не только то, как устроена микроструктура металла в сварном шве [11, 12] и зоне термического влияния (ЗТВ) [13–16], но и какие именно дефекты формируются, как они сказываются на механических свойствах стойкости к коррозии [17–19]. Все это помогает объективно оценивать качество трубной продукции и вырабатывать рекомендации по ее эксплуатации.

Объектом исследования в представленной работе являются сварные и бесшовные трубы из сталей марок 20 и 09Г2С, применяемые в тепловых сетях. Предметом исследования выступают их микроструктурные особенности, механические свойства и устойчивость к коррозии. Таким образом, целью настоящей

работы являлся анализ и сравнение механических свойств и микроструктуры прямошовных и бесшовных труб тепловых сетей для обоснования применения того или иного вида труб в коммунальном хозяйстве.

Материалы и методики эксперимента

Контроль химического состава образцов выполняли методом спектрального анализа с применением оптического эмиссионного спектрометра «Q4 TASMAN». Статические испытания проводили на разрывной машине УТС111.2-30,0-42, определяли условной предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение образцов [20, 21]. Динамические характеристики (ударная вязкость) образцов определяли на маятниковом копре «IZOD-PENDEL». Испытания проводили на образцах с надрезом U при температуре +20°C. Металлографические исследования выполнялись с последовательным шлифованием, полировкой и травлением образцов в 4%-ном растворе HNO₃ с этиловым спиртом. Изображения микроструктуры получали на микроскопе Axio Observer с увеличением ×50, ×100, ×500 [22–25]. Рентгенографический контроль сварных швов происходил с применением рентген-аппарата «Арсенал 200НС», эталона чувствительности канавочного № 11, денситометра ДП 5004, негатоскопа Гелиос XRS 100/400. Коррозионные испытания проводились с определением потери массы и толщины образцов.

Для исследования использованы образцы из труб в соответствии с Таблицей 1.

По механическим свойствам образцы труб 1–3, 5–8 соответствуют требованиям ГОСТ 1050-2013, ГОСТ 10705-80. Труба 4 по механическим свойствам соответствует классу прочности не ниже 390 по ГОСТ 19281-2014.

По результатам испытания на ударный изгиб образцы труб 1–3, 5–8 соответствуют требованиям ГОСТ 10705-80 (установленное требование ударной вязкости KСU⁺²⁰ 74,48). Образец 4 показал более высокие значения, однако это объясняется тем, что труба выполнена из стали 09Г2С.

Таблица 2. Химический состав металла труб
Table 2. Chemical composition of pipe metal

Наименование образца	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1 Ø89×5	0,21	0,15	0,18	0,001	0,002	0,08	0,07	0,14
2 Ø108×5	0,19	0,15	0,17	0,002	0,002	0,05	0,07	0,12
3 Ø159×6	0,19	0,14	0,17	0,003	0,001	0,05	0,08	0,14
4 Ø219×6	0,13	0,54	1,54	0,004	0,003	0,07	0,08	0,18
5 Ø325×7	0,19	0,22	0,35	0,002	0,004	0,02	0,05	0,03
6 Ø426×8	0,19	0,23	0,35	0,005	0,001	0,02	0,06	0,04
7 Ø530×8	0,20	0,25	0,37	0,001	0,001	0,03	0,08	0,07
8 Ø377×10	0,18	0,24	0,36	0,001	0,001	0,11	0,12	0,20

Таблица 3. Механические свойства металла труб
Table 3. Mechanical properties of pipe metal

Наименование образца	Условный предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	КСУ ⁺²⁰ , Дж/см ²
1	Ø89×5	493,8	571,5	22,4
2	Ø108×5	463,0	549,2	21,5
3	Ø159×6	457,8	543,5	19,6
4	Ø219×6	426,0	570,1	26,6
5	Ø325×7	366,9	452,0	27,7
6	Ø426×8	346,7	464,8	27,4
7	Ø530×8	342,4	460,0	26,1
8	Ø377×10	355,9	455,5	24,9

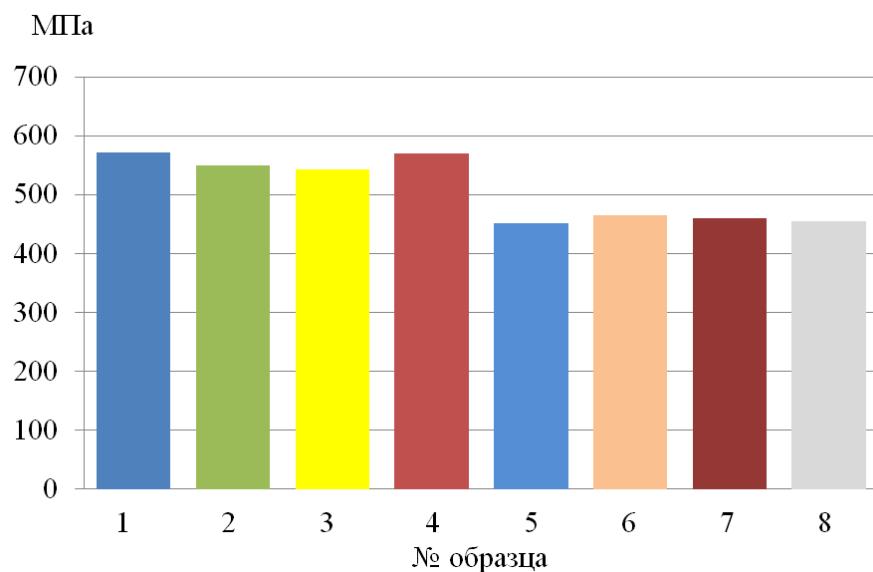


Рис. 1. Временное сопротивление образцов при испытании на статическое растяжение
Fig. 1. Tensile strength of specimens during static tensile testing



при $\times 50$
at $\times 50$

Рис. 2. Характерная микроструктура образцов (образец №2)
Fig. 2. Characteristic microstructure of samples (sample No. 2)



при $\times 100$
at $\times 100$

Рис. 3. Микроструктура образца №4
Fig. 3. Microstructure of sample No. 4



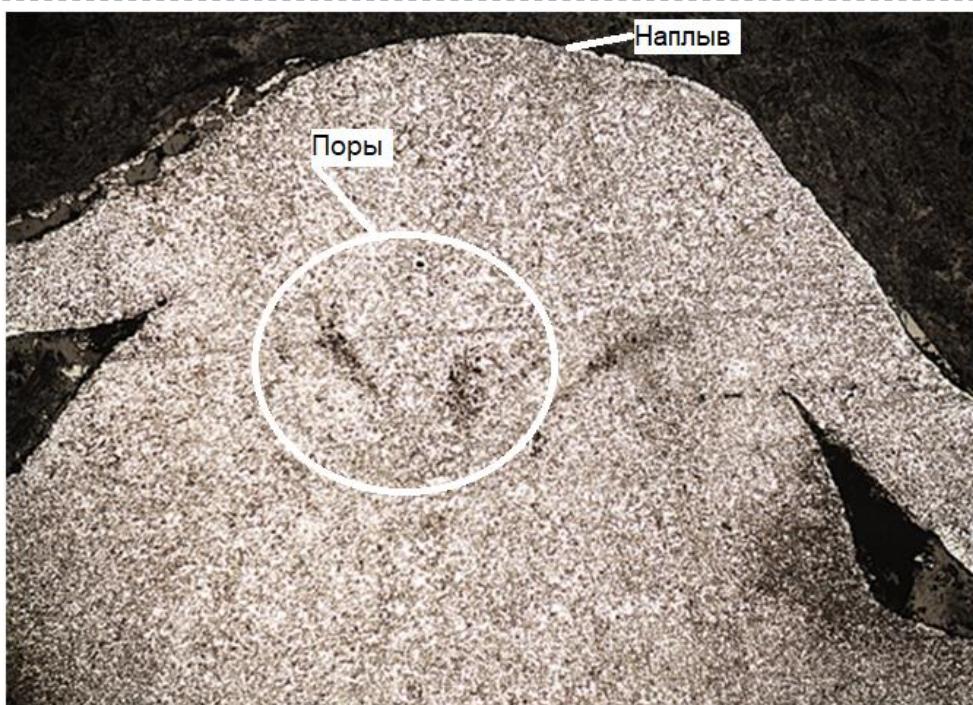
при $\times 50$
at $\times 50$

Рис. 4. Дефекты образца №1 (наплыв и газовая полость)
Fig. 4. Defects of sample No. 1 (burst and gas cavity)

Механические свойства исследованных образцов показали себя соответствующими требованиям НТД, однако для труб больших диаметров они несколько ниже. Однако ГОСТ 10705-80 предполагает разные механические свойства для труб различных диаметров. Трубы диаметром до 152 мм имеют более высокие механические свойства, чем трубы диаметром

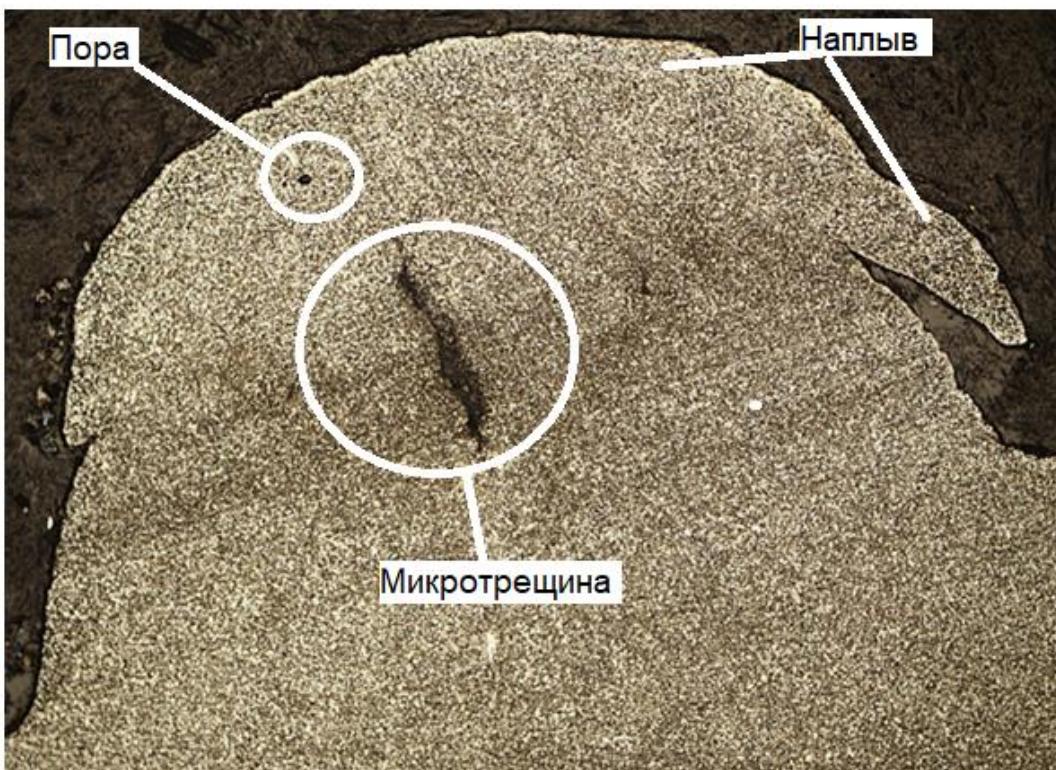
свыше 152 мм, данная закономерность наблюдается и в полученных результатах.

При металлографическом исследовании образцов №1 – 3, 5 – 8 (Рис. 2) получена структура мелкозернистая, структура образца №4 (Рис. 3) отличается полосчатостью. У всех



при $\times 50$
at $\times 50$

Рис. 5. Дефекты образца №5 (наплыв, пора)
Fig. 5. Defects of sample No. 5 (burst, pore)



при $\times 50$
at $\times 50$

Рис. 6. Дефекты образца №6 (наплыв, микротрецина и пора)
Fig. 6. Defects of sample No. 6 (burst, microcrack and pore)

Таблица 4. Сводные показатели испытаний коррозионной стойкости труб
Table 4. Summary of pipe corrosion resistance test results

Группа образцов	Средняя потеря массы на единицу площади, Δm , кг/м	Среднее изменение толщины, ΔL , мм	Средняя скорость убыли массы, v_m , кг/м·год	Средняя линейная скорость коррозии, v_1 , мм/год
1 ($\varnothing 89 \times 5$)	0,0347	4,42	101,3	12,9
2 ($\varnothing 108 \times 5$)	0,0347	4,42	101,3	12,9
3 ($\varnothing 159 \times 6$)	0,0282	3,59	82,3	10,5
4 ($\varnothing 219 \times 6$)	0,0282	3,59	82,3	9,5
5 ($\varnothing 325 \times 7$)	0,0239	3,04	69,6	8,9
6 ($\varnothing 426 \times 8$)	0,0196	2,49	57,1	7,3
7 ($\varnothing 530 \times 8$)	0,0282	3,59	82,3	10,5
8 ($\varnothing 377 \times 10$)	0,039	4,97	111,4	14,5

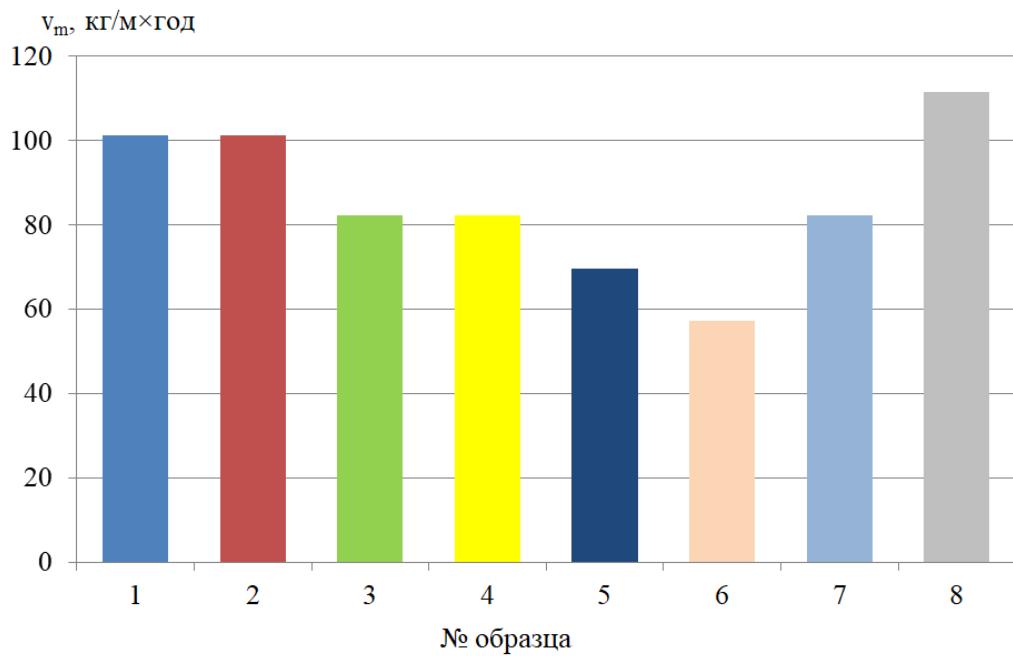


Рис. 7. Средняя скорость убыли массы
Fig. 7. Average rate of mass loss

образцов прямошовных труб обнаружены дефекты сварки – наплыв в усиливении шва. Также в усиливении швов обнаружены: газовая полость (образец №1 – Рис. 4), поры (образцы №3, 5 (Рис. 5), 6 и 7) и микротрещина (образец №6 – Рис. 6). Наличие такого дефекта, как наплыв, может привести к увеличению скорости развития коррозии в металле. Таблице 4 приведены результаты испытания на коррозионную стойкость на базе ГОСТ 9.912-89, в соответствии с которым составлена методика проведения ускоренных коррозионных испытаний.

Наилучшие результаты показал образец №4 (09Г2С) – у него минимальные потери массы и толщины. Это объясняется легирующими элементами (Mn, Si). Бесшовный образец №8

(сталь 20) также продемонстрировал хорошие показатели, немного уступая 09Г2С, но превосходя большинство сварных труб. Образцы №5, 6 и 7, выполненные из стали 20 и имеющие большие диаметры, показали наиболее высокие скорости коррозии.

Вероятно, это связано с микродефектами в структуре, особенно в области сварного шва. Все остальные образцы (№1–3) также находятся в допустимых пределах, но имеют немного более высокие значения, чем бесшовные или низколегированные аналоги.

По результатам рентгенографического контроля визуально значимые дефекты были зафиксированы только у образца №7, при этом они не превышают предельных значений и не являются основанием для браковки.

Рентгенография не выявила дефектов на образцах в таких же объемах, как при металлографических исследованиях, что может быть объяснено их расположением относительно прибора контроля, малыми размерами либо их отсутствием на контролируемом участке.

Выходы

Выполнен комплекс исследований механических свойств (условный предел текучести, временное сопротивление разрушению, относительное удлинение и ударная вязкость), микроструктуры, а также приведен анализ результатов рентгенографического контроля и испытаний на стойкость к коррозии образцов металла, полученных из прямошовных сварных и бесшовных труб. По результатам сравнения механических свойств установлено, что все трубы соответствуют требованиям нормативно-технической документации, однако по результатам металлографических исследований образцов установлено наличие у всех образцов прямошовных труб дефектов сварки – наплыдов в усилении шва. Наличие таких дефектов может привести к увеличению скорости развития коррозии в металле. Анализ полученных результатов позволил рекомендовать для использования в тепловых сетях бесшовные трубы, в которых отсутствуют дефекты, свойственные прямошовным сварным трубам, которые являются концентраторами напряжений и могут приводить к более быстрому выходу из строя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Смирнов А. Н., Абабков Н. В. Экспертиза промышленной безопасности и ресурс оборудования ТЭК Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5 (111). С. 70–78.
- Справочник сварщика. Под ред. В. В. Степанова. М. : Машиностроение, 1982.
- Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров С. Л. Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций. М. : Высш. школа, 1983.
- Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. М. : Машиностроение, Т. 1. 1978.
- Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. М. : Машиностроение, Т. 3. 1978.
- Мак Лин Д. Механические свойства металлов. М. : Металлургия, 1965. 431 с.
- Totten G. E., Howes M. A., Inoue T. Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel // ASM International. 2002.
- Thewlis, G. A. (2004). Classification and quantification of microstructures in steels // *Materials Science and Technology*. 2004. № 20. Pp. 143-160.
- Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Абабков Н. В. Разрушение и диагностика металлов. Москва–Кемерово : Издательство «Инновационное машиностроение», 2016. 479 с. (Техническое диагностирование). ISBN 978-5-9908302-5-7. EDN YLCUOX.
- Иванова А. С., Ливанова О. В., Плещивцев В. Г., Филиппов Г. А. Деградационные процессы в металле труб сетевых водопроводов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2025. № 1. С. 28-35. DOI: 10.52351/00260827_2025_1_28. EDN DLHBUM.
- Никулин А. Н., Филиппов Г. А., Ливанова О. В. [и др.] Влияние масштабного фактора очага деформации на условия сдвигового смещения металла в поверхностных слоях заготовки при прокатке // Сталь. 2024. № 9. С. 36-44. EDN QHWMHD.
- Смирнов А. Н., Абабков Н. В. Анализ проблем, связанных с безопасной эксплуатацией элементов энергетического машиностроения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 2(78). С. 12-17. EDN LPBLBZ.
- Смирнов А. Н., Абабков Н. В., Глинка А. С., Логов А. Б. Акустические и физико-механические показатели теплоустойчивой стали в окрестности трещины // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 10(82). С. 40-44. EDN OIZXCH.
- Плещивцев В. Г., Пак Ю. А., Филиппов Г. А. [и др.] Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность трубопроводов // Деформация и разрушение. 2007. №1. С. 6-11.
- Филиппов Г. А., Ливанова О. В. Деградация свойств металла труб при длительной эксплуатации магистральных трубопроводов// Сталь. 2003. №2, 84-87.
- Godefroid L. B., Cândido L. C., Toffolo R., Barbosa, L. H. (2014). Microstructure and mechanical properties of two API steels for iron ore pipelines // *Materials Research-ibero-american Journal of Materials*. 2014. № 17. Pp. 114-120.
- Wang B., Yang W., Liu Y., Zhang T. Industrial Experiment of the Online Accelerated Cooling for 27SiMn Seamless Steel Pipe. *Steel research international*. 2025.
- Lima A. P., Faria G. L., Trindade Filho V. B., Cândido L. C. Effect of the Chemical Homogeneity of a Quenched and Tempered C-Mn Steel Pipe on the Mechanical Properties and Phase Transformations // *Materials Research*. 2019.
- Lu X., Zhang Z., Lv M., Li X., Song B., Fang, M. Evolution of Non-Metallic Inclusions in 27SiMn Steel // *Metals*. 2022.
- Costin W. L., Lavigne O., Kotousov A. A study on the relationship between microstructure and mechanical properties of acicular ferrite and upper bainite // *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2016. № 663. Pp. 193-203.
- Zhang C., Gong B., Deng C., Wang D. Computational prediction of mechanical properties of a C-Mn weld metal based on the microstructures and micromechanical properties // *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2017. № 685. Pp. 310-316.
- Wang W., Shan Y., Yang K. Study of high

- strength pipeline steels with different microstructures // *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2009. № 502. Pp. 38-44.
23. Branco R., Berto F. Mechanical Behavior of High-Strength, Low-Alloy Steels // *Metals*. 2018.
24. Maruschak P., Danyliuk I., Prentkovskis O., Bishchak R., Pylypenko A. P., Sorochak A. Degradation of the main gas pipeline material and mechanisms of its fracture // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014. № 20. Pp. 864-872.
25. Blumenstein V. Yu., Ostanin O. A. Modeling and Calculation of Cyclic Fatigue Life of Surface Plastic Strain Hardened Parts of Mining Machines Based on the Mechanics of Technological Inheritance / V. Yu. Blumenstein, // Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection", Qingdao. Atlantis Press : Atlantis Press, 2018. Pp. 202-208. DOI: 10.2991/coal-18.2018.37. EDN YSPUEP.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Абабков Николай Викторович, заведующий кафедрой технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, к.т.н., доцент, e-mail: n.ababkov@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0794-8040>

Пимонов Максим Владимирович, доцент кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, к.т.н., e-mail: pimonovmv@kuzstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9509-4692>

Левашова Елена Евгеньевна, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: petrova.len-a-petrova2010@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4551-9187>

Щепетков Алексей Владимирович, аспирант гр. МТа-221 кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: shepetkov.97@mail.ru

Сивушкин Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: asashai_1@mail.ru

Сыркин Павел Александрович, главный сварщик ООО «ЭнергоТранзит», г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 12, офис 7, e-mail: nik.vik19@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Абабков Николай Викторович – научный менеджмент, постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, формулировка выводов, написание текста.

Пимонов Максим Владимирович – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Левашова Елена Евгеньевна – сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Щепетков Алексей Владимирович – обзор соответствующей литературы, обработка результатов, написание текста.

Сивушкин Александр Сергеевич – обзор соответствующей литературы, обработка результатов, написание текста.

Сыркин Павел Александрович – предоставление экспериментальных образцов, выводы, написание текста

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF STRAIGHT-SEAM AND SEAMLESS PIPES OF HEAT NETWORKS

Nikolay V. Ababkov^{1,2}, Maxim V. Pimonov^{1,2},
Elena E. Levashova¹, Alexey V. Shchepetkov¹,
Alexander S. Sivushkin¹, Pavel A. Syrkin²

¹ T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² LLC «EnergoTranzit»

* for correspondence: anv.tma@kuzstu.ru



Article info

Received:
29 September 2025

Accepted for publication:
15 November 2025

Accepted:
02 December 2025

Published:
22 December 2025

Keywords: microstructure, mechanical properties, non-destructive testing, straight-seam welded pipes, seamless pipes, defect.

Abstract.

The reliability and durability of heating networks largely depend on the quality of the pipes they are constructed from. Premature failure of heating network pipes causes accidents and is undesirable for utilities. This article examines the mechanical properties, microstructure, and radiographic inspection results of metal specimens obtained from longitudinally welded and seamless pipes. Most of the specimens presented in the study were made of grade 20 steel, with one specimen made of grade 09G2S steel. A comparison of mechanical properties revealed that all pipes meet the requirements of regulatory and technical documentation. Radiographic inspection revealed weld defects only in specimen No. 7. Metallographic examination of the specimens revealed welding defects in all longitudinally welded pipe specimens, including weld reinforcement overhangs. Gas pockets, pores, and microcracks were also detected in the weld reinforcement. The presence of such defects can lead to an increased rate of corrosion in the metal. Corrosion resistance studies showed that the grade 09G2S steel specimen is the most resistant, which is explained by the presence of alloying elements. For pipes made of grade 20 steel, corrosion resistance indicators are quite similar. An analysis of the obtained results allows us to recommend seamless pipes for use in heating networks, as they are free of defects that are typical of straight-seam welded pipes, which are stress concentrators and can lead to more rapid failure.

For citation: Ababkov N.V., Pimonov M.V., Levashova E.E., Shchepetkov A.V., Sivushkin A.S., Syrkin P.A. Research of mechanical properties and microstructure of straight-seam and seamless pipes of heat networks. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 6(172):19-28. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-19-28, EDN: CFCDIO

REFERENCES

- Smirnov A.N., Ababkov N.V. Industrial Safety Expertise and Equipment Service Life of the Fuel and Energy Complex of Kuzbass. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2015; 5(111):70-78.
- Welder's Handbook. Ed. by V.V. Stepanov. Moscow: Mashinostroenie; 1982.
- Nikolaev G.A., Kurkin S.A., Vinokurov S.L. Welded Structures. Manufacturing Technology, Automation of Production and Design of Welded Structures. Moscow: Vyssh. School; 1983.
- Welding in Mechanical Engineering: A Handbook in 4 Volumes. Moscow: Mashinostroenie; 1978.
- Welding in Mechanical Engineering: A Handbook in 4 Volumes. Moscow: Mashinostroenie; 1978.
- Mac Lean D. Mechanical Properties of Metals. Moscow: Metallurgy; 1965. 431 p.
- Totten G.E., Howes M.A., Inoue T. Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel. ASM International. 2002.
- Thewlis G.A. Classification and quantification of microstructures in steels. *Materials Science and Technology*. 2004; 20:143-160.
- Smirnov A.N., Muravyov V.V., Ababkov N.V. Destruction and diagnostics of metals. Moscow-Kemerovo: Innovative Engineering Publishing House; 2016. 479 p. (Technical diagnostics). ISBN 978-5-9908302-5-7. EDN YLCUOX.
- Ivanova A.S., Livanova O.V., Pleshivtsev V.G., Filippov G.A. Degradation processes in the metal of water supply network pipes. *Problems of ferrous metallurgy and materials science*. 2025; 1:28-35. DOI: 10.52351/00260827_2025_1_28. EDN DLHBUM.
- Nikulin A.N., Filippov G.A., Livanova O.V. [et al.] Influence of the scale factor of the deformation zone on the conditions of shear displacement of metal in the surface layers of the workpiece during rolling. *Steel*. 2024; 9:36-44. EDN QHWMHD.
- Smirnov A.N., Ababkov N.V. Analysis of problems associated with the safe operation of power engineering elements. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2010; 2(78):12-17. EDN LPBLBZ.
- Smirnov A.N., Ababkov N.V., Glinka A.S., Logov A.B. Acoustic and physical-mechanical properties of heat-resistant steel in the vicinity of a crack. *Hardening technologies and coatings*. 2011; 10(82):40-44. EDN OIZXCH.
- Pleshivtsev V.G., Pak Yu.A., Filippov G.A. [et al.] Factors influencing the operational reliability of pipelines. *Deformation and destruction*. 2007; 1:6-11.
- Filippov G.A., Livanova O.V. Degradation of pipe metal properties during long-term operation of main pipelines. *Steel*. 2003; 2:84-87.
- Godefroid L.B., Cândido L.C., Toffolo R., Barbosa L.H. Microstructure and mechanical properties of two API steels for iron ore pipelines. *Materials Research-ibero-american Journal of Materials*. 2014; 17:114-120.
- Wang B., Yang W., Liu Y., Zhang T. Industrial Experiment of the Online Accelerated Cooling for 27SiMn Seamless Steel Pipe. *Steel research international*. 2025.

18. Lima A.P., Faria G.L., Trindade Filho V.B., Cândido, L.C. (2019). Effect of the Chemical Homogeneity of a Quenched and Tempered C-Mn Steel Pipe on the Mechanical Properties and Phase Transformations. *Materials Research*. 2019.
19. Lu X., Zhang Z., Lv M., Li X., Song B., Fang M. Evolution of Non-Metallic Inclusions in 27SiMn Steel. *Metals*. 2022.
20. Costin W.L., Lavigne O., Kotousov A. A study on the relationship between microstructure and mechanical properties of acicular ferrite and upper bainite. *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2016; 663:193-203.
21. Zhang C., Gong, B. Deng, C. Wang D. Computational prediction of mechanical properties of a C-Mn weld metal based on the microstructures and micromechanical properties. *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2017; 685:310-316.
22. Wang W., Shan Y., Yang K. Study of high strength pipeline steels with different
- microstructures. *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2009; 502:38-44.
23. Branco R., Berto F. Mechanical Behavior of High-Strength, Low-Alloy Steels. *Metals*. 2018.
24. Maruschak P., Danyliuk I., Prentkovskis O., Bishchak R., Pylypenko A.P., Sorochak A. Degradation of the main gas pipeline material and mechanisms of its fracture. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014; 20:864-872.
25. Blumenstein V.Yu., Ostanin O.A. Modeling and Calculation of Cyclic Fatigue Life of Surface Plastic Strain Hardened Parts of Mining Machines Based on the Mechanics of Technological Inheritance. *Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection"*. Qingdao. Atlantis Press: Atlantis Press; 2018. Pp. 202-208. DOI: 10.2991/coal-18.2018.37. EDN YSPUEP.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Nikolay V. Ababkov, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Vesennaya St., 28, PhD in Engineering (Cand. of Sc.), Associate Professor, e-mail: n.ababkov@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0794-8040>

Maxim V. Pimonov, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Vesennaya St., 28, PhD in Engineering (Cand. of Sc.), e-mail: pimonovmv@kuzstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9509-4692>

Elena E. Levashova, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Vesennaya St., 28, e-mail: petrova.lena-petrova2010@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4551-9187>

Aleksey V. Shchepetkov, postgraduate student, Group MTa-221, Department of Mechanical Engineering Technology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Vesennaya Street, 28, e-mail: shchepetkov.97@mail.ru

Aleksandr S. Sivushkin, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Vesennaya Street, 28, e-mail: asashai_1@mail.ru

Pavel A. Syrkin, Chief Welder, EnergoTranzit LLC, Novokuznetsk, Ordzhonikidze Street, 12, Office 7, e-mail: nik.vik19@yandex.ru

Contribution of the authors:

Nikolay V. Ababkov – scientific management, formulation of the research problem, review of relevant literature, conceptualization of the study, formulation of conclusions, writing the text.

Maxim V. Pimonov – review of relevant literature, conceptualization of the study, collection and analysis of data, conclusions, writing the text.

Elena E. Levashova – collection and analysis of data, conclusions, writing the text.

Aleksey V. Shchepetkov – review of relevant literature, processing of results, writing of the text.

Aleksandr S. Sivushkin – review of relevant literature, processing of results, writing of the text.

Pavel A. Syrkin – provision of experimental samples, conclusions, writing of the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

