

Влияние низкой температуры на надмолекулярную структуру материала сварного соединения полимерных труб

А.И. Герасимов, Г.В. Ботвин, Е.В. Данзанова*

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

*dhv4071@mail.ru

Аннотация. Исследована надмолекулярная структура сварного соединения полипропиленовых труб, выполненных в раструб, при положительных и отрицательных температурах окружающего воздуха. Подтверждена выдвинутая авторами гипотеза о том, что, независимо от температуры окружающего воздуха при сварке полипропилена, структура шва под поверхностным слоем сварного соединения становится сферолитной, как у основного полимерного материала. При сварке полимерных материалов в условиях низких температур окружающего воздуха влияние кондуктивного теплоотвода на формирование надмолекулярной структуры околошовной зоны сварного соединения проявляется особенно ярко, вследствие низкого коэффициента теплопроводности. Установлено, что надмолекулярная структура сварного соединения полипропиленовых труб, выполненного в раструб, при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ по разработанной в ИПНГ СО РАН и запатентованной технологии сварки полимерных труб близка к структуре соединения, произведенного при комнатной температуре. Показано, что в зоне термического влияния сварного соединения полипропиленовых труб, сваренного даже при около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, обнаруживаются области с деструктурированной надмолекулярной структурой. Приведены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: сварка нагретым инструментом в раструб, полипропиленовая труба, кондуктивный теплоотвод, надмолекулярная структура, участок вблизи шва, зона термического влияния, низкая температура окружающего воздуха.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзаказа Министерства науки и высшего образования РФ (№ 0377-2018-0001). Авторы признательны за поддержку действительному члену АН РС(Я), д.т.н., проф. А.А.Охлопковой и ведущему инженеру химического отделения Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова Дьяконову А.А.

Введение

Формирование надмолекулярной структуры (структуры) сварного шва полимерных материалов и стали существенно различается не только по температуре, но и условиями остывания [1, 2]. Коэффициенты теплопроводности, например, стали Ст3, полиэтилена низкого давления (ПНД) и полипропилена (ПП) соответственно 35, 0,32–0,44 и 0,24 Вт/(м·К) [3–5]. Таким образом, по сравнению со сталью коэффициенты теплопроводности ниже в 100 раз у ПНД и в 145 раз у ПП! В интервале низких климатических температур коэффициент теплопроводности воздуха при $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 0,018 Вт/(м·К), и постепенно увеличивается до 0,0276 Вт/(м·К) при плюс $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]. На расплав полимера из-за

его низкой теплопроводности только тонкий поверхностный слой, контактирующий с воздухом, будет подвергаться влиянию температуры окружающего воздуха [7].

При соединении полимерных материалов широко применяются три вида сварки: сварка нагретым способом встык, сварка с закладным нагревательным элементом и сварка в раструб [8, 9]. При всех этих видах сварки поверхность расплава, контактирующая с воздухом, теплопроводность которого в десять раз и более ниже, чем у полимера, ничтожно мала, по сравнению с площадью расплава, контактирующей с основным материалом трубы. В связи с этим роль кондуктивного теплоотвода становится определяющей при сварке полимерных труб. В работе [7] была

высказано предположение, что во всех вышеперечисленных видах сварки по обе стороны от шва имеются области с деструктурированной структурой. Целью настоящей работы является исследование надмолекулярной структуры материала сварного соединения полипропиленовых труб, выполненного при различных температурах ОВ.

Материалы и методы исследования

В данной работе исследовалась структура сварных раструбных соединений полипропиленовых труб PP-R диаметром 63 мм, SDR 11. Для сварки нагретым инструментом в раструб полипропиленовых труб для горячего и холодного водоснабжения было использовано широко применяемое в промышленности и в быту оборудование DYTRON POLYS P-4. Для исследования надмолекулярной структуры использовался электронный растровый микроскоп JEOL JSM-7800F.

Методика исследования

Исследовались структуры сварных раструбных соединений, произведенных при следующих температурах: 23 °С (комнатной); 1 °С; на открытом воздухе при –30 °С и на открытом воздухе при –30 °С с предварительным подогревом свариваемого конца полипропиленовой трубы и муфты, по технологии сварки, описанной в работе [10]. Согласно действующим нормативным документам [11, 12], сварка полипропиленовых труб для холодного и горячего водоснабжения и отопления производится только при положительных температурах ОВ. На рис. 1 приведено принятое в этой работе условное разделение на зоны в исследуемых образцах сварных раструбных соединений ПП труб. Исследования проводились на электронном растровом микроскопе JEOL JSM-7800F по пяти условным зонам: 1 – область шва, 2, 3 – участок вблизи шва, 4, 5 – зоны термического влияния. Протяженности этих зон составляют около 2, 0,2 и 1 мм соответственно.

Сравнение структур швов на рис. 2 показывает, что независимо от температуры ОВ формируется схожая со структурой основного материала структура из сферолитов. Причем эта структура даже не зависит от того, нагревали свариваемые детали предварительно или нет, т. е. на образование сферолитных структур в шве температура самих свариваемых полимерных деталей существенно не влияет.

Наибольший интерес представляют структуры, полученные на участках вблизи шва, распо-

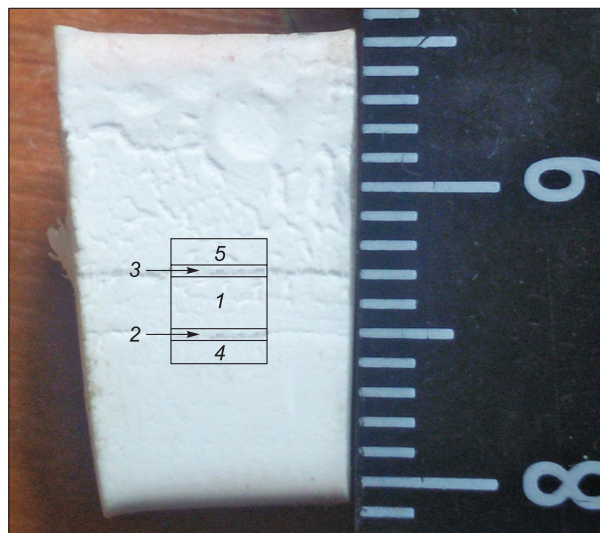


Рис. 1. Разделение на условные зоны сварного раструбного соединения полипропиленовой трубы. Поясн. см. в тексте.

Fig. 1. Division into conditional zones of a welded socket joint of a polypropylene pipe
Notes see in text.

ложенных на границе с зоной термического влияния, через которые происходит кондуктивный теплоотвод в обе стороны от расплава, образованного при сварке в раструб. На рис. 3 представлены фотографии структуры материала вблизи шва.

Действительно, при сварке полипропиленовой трубы и муфты, выдержанных сутки при температуре окружающего воздуха –30 °С и сваренных на открытом воздухе при этой же температуре, на участке вблизи шва сформировалась фибриллярно-сферолитная структура, отличающаяся от сферолитной структуры в той же области сварки, но произведенной при температуре плюс 23 °С.

На рис. 4 приведены структура материала вблизи шва полипропиленовой трубы и муфты, выдержанных сутки при температуре окружающего воздуха –30 °С и сваренных на открытом воздухе при этой же температуре, но с предварительным подогревом по технологии, описанной в работе [13]. Для сравнения рядом с ним приведено фото той же области, но полученной при сварке при комнатной температуре. Схожесть структур этих зон показывает, что предварительный подогрев уменьшает влияние кондуктивного теплоотвода и еще раз доказывает правомерность сварки полипропиленовых труб при низких температурах на открытом воздухе по разработанной технологии.

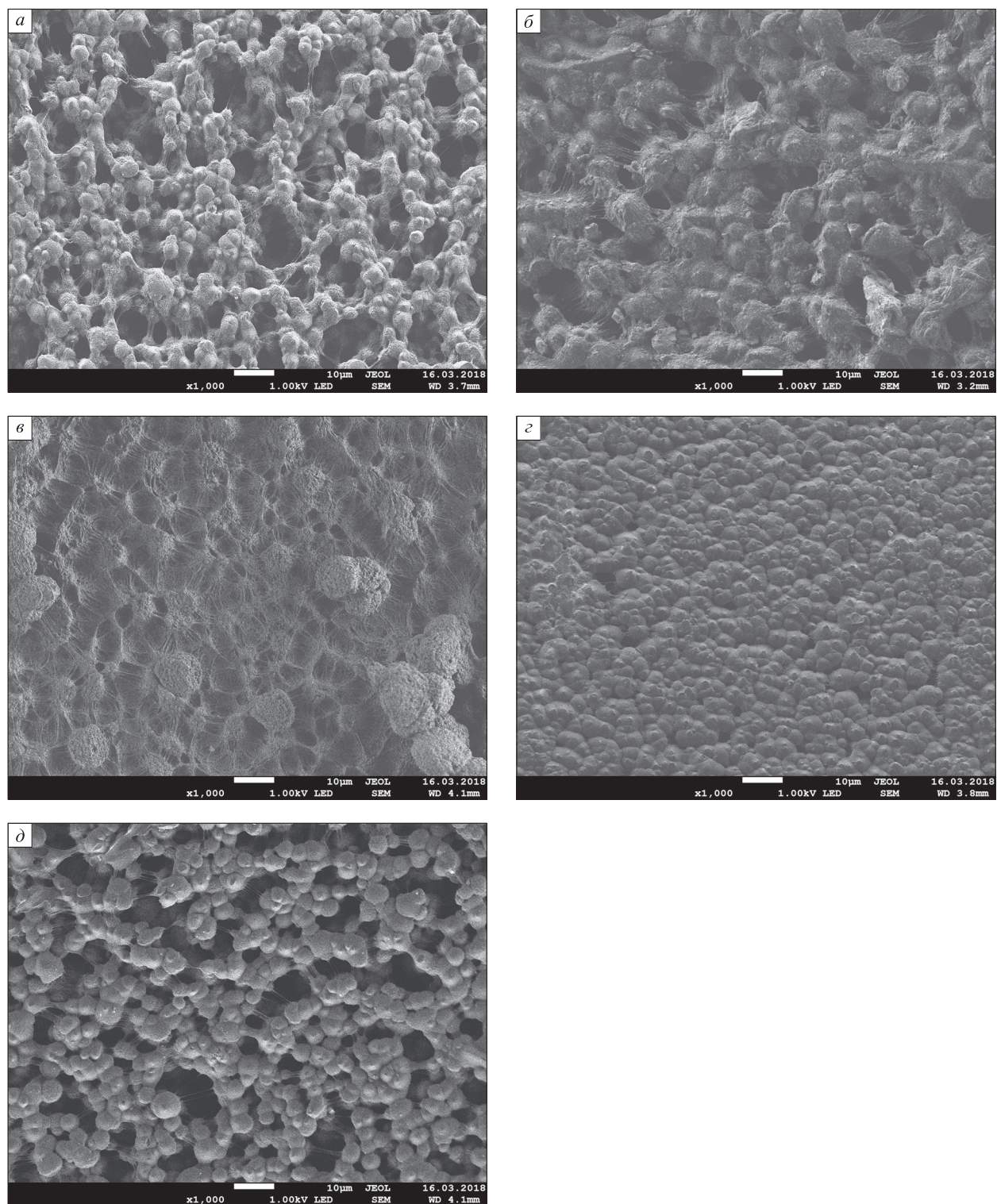


Рис. 2. Структура материала в области шва:

a – сварка при 23 °С; *б* – сварка при –30 °С; *в* – сварка при –30 °С с предварительным подогревом; *г* – основной материал трубы; *д* – основной материал муфты.

Fig. 2. Material structure of the weld zone (fusion zone):

a – welding at 23 °С; *б* – welding at minus 30 °С; *в* – welding at minus 30 °С with preheating; *г* – the main material of the pipe; *д* – the main material of the coupling

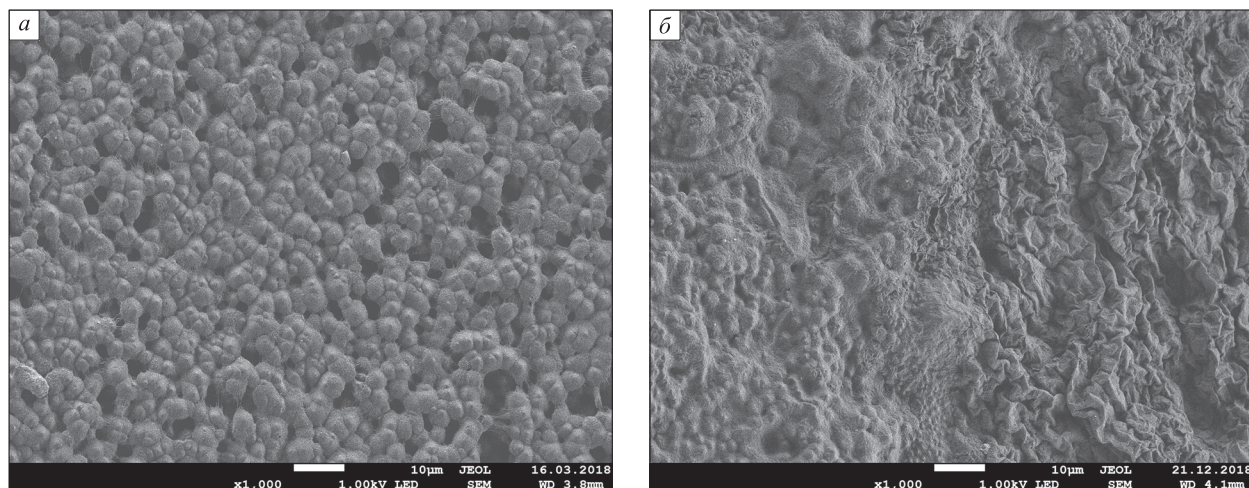


Рис. 3. Структура материала участка вблизи шва:
а – сварка при 23 °С, б – сварка при –30 °С.

Fig. 3. Material structure of the heat-affected zone:
а – welding at 23 °С, б – welding at –30 °С.

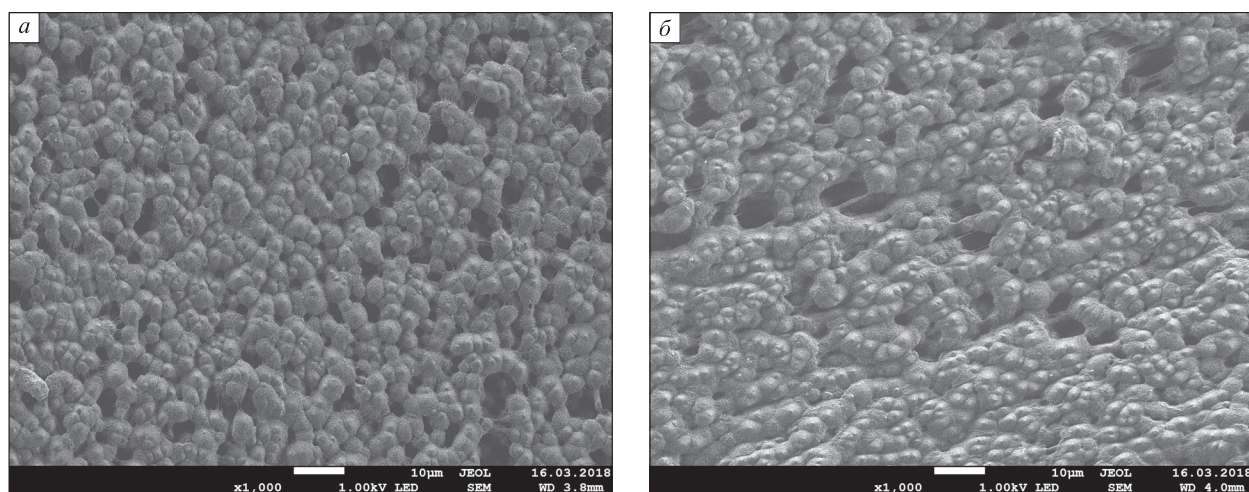


Рис. 4. Структура материала на участке вблизи шва:
а – сварка при 23 °С, б – сварка при –30 °С с предварительным подогревом.

Fig. 4. Material structure of the heat-affected zone:
а – welding at 23 °С, б – welding at –30 °С with preheating.

Структуры зон термического влияния при сварке в условиях низких климатических температур приведены на рис. 5. Для сравнения приведена структура материала в зоне термического влияния сварного соединения, сваренного при комнатной температуре.

Структура материала зоны термического влияния сварного соединения, выполненного при отрицательной температуре ОВ, полностью фибриллярная в отличие от сферолитных структур материала той же зоны сварных соединений, вы-

полненных при комнатной температуре и при –30 °С с предварительным подогревом. Резкое различие приведенных на рис. 5 структур объясняется различной скоростью охлаждения в зоне термического влияния. При сварке в условиях отрицательных температур, в отличие от шва, участки, находящиеся вблизи шва и в зоне термического влияния, из-за кондуктивного теплоотвода остывают быстрее, что приводит к формированию фибриллярных или фибриллярно-сферолитных структур в них [14, 15]. Для

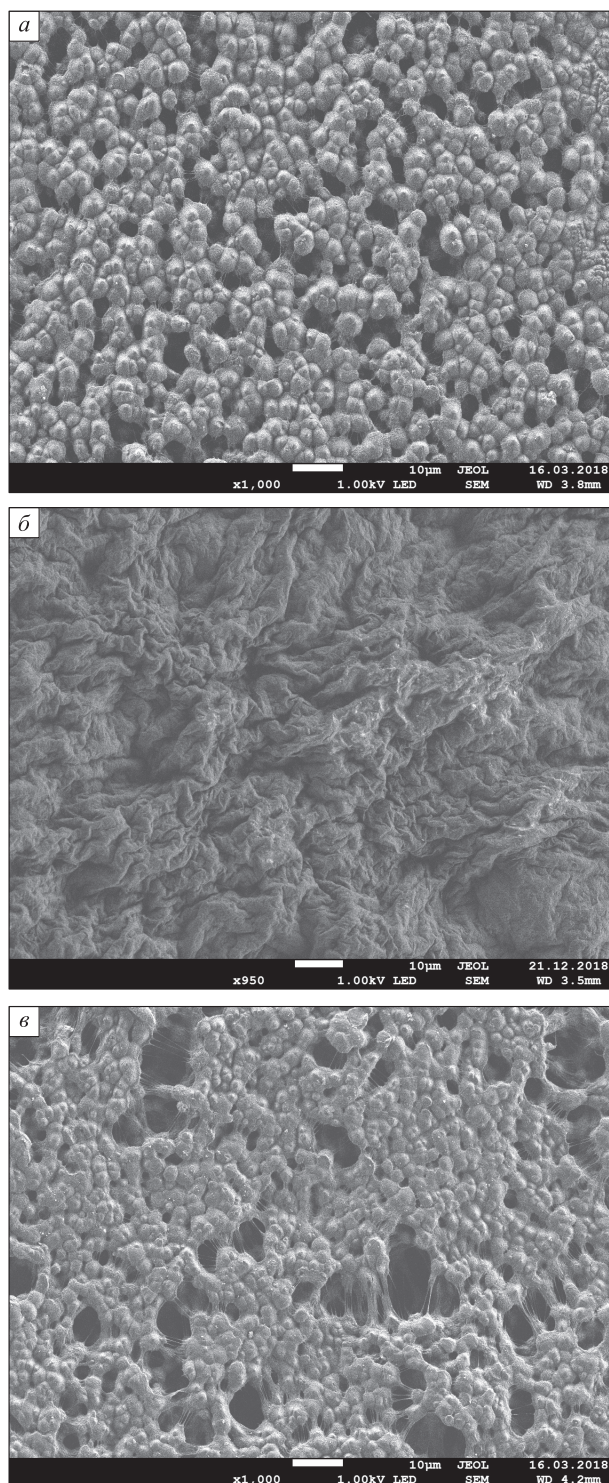


Рис. 5. Структура материала зон термического влияния: *а* – сварка при 23 °С; *б* – сварка при –30 °С; *в* – сварка при –30 °С с предварительным подогревом.

Fig. 5. Material structure of the heat affected zone: *a* – welding at 23 °C; *б* – welding at –30 °C; *в* – welding at –30 °C with preheating.

подтверждения данного факта были проведены эксперименты по замеру температуры остывания материала вблизи шва. Результаты эксперимента приведены на рис. 6. На рисунке приведена температура остывания материала при охлаждении сварных соединений, сваренных при комнатной температуре, при температуре ОВ –30 °С на открытом воздухе с предварительным подогревом и без него.

Видны различия кривых термических циклов сварки, выполненных в условиях положительных и отрицательных температур окружающего воздуха, в том числе и в интервале температур 105–100 °С кристаллизации полипропилена. Горизонтальная полочка, имеющаяся на кривых термических циклов сварки при положительных температурах ОВ и при –30 °С с предварительным подогревом, объясняется выделением тепла при кристаллизации полипропилена [16, 17]. Согласно исследованию методом дифференциальной сканирующей калориметрии, именно при этих значениях температуры происходит интенсивная кристаллизация полипропилена [18]. При увеличении скорости охлаждения на кривой термического цикла сварки горизонтальная полочка неявно выражена, таким образом, возможно образование фибриллярных структур вблизи шва. Естественно предположить, что данные зоны будут иметь наименьшую прочность.

На рис. 7 приведена структура материала зоны термического влияния сварного соединения, выполненного при температуре плюс 1 °С, т. е. при температуре, допускающей сварку ПП труб согласно действующему в настоящий момент нормативному документу [11]. Однако структура получается такой же деструктурированной, как и при сварке в условиях низких температур ОВ.

Выводы

– Независимо от температуры окружающего воздуха шов сварного раструбного соединения полипропиленовой трубы под поверхностным тонким слоем имеет сферолитную надмолекулярную структуру, как и основной материал трубы и муфты.

– В зоне термического влияния сварных соединений, выполненных в условиях низких климатических температур окружающего воздуха, а также при 1 °С, формируются фибриллярные структуры.

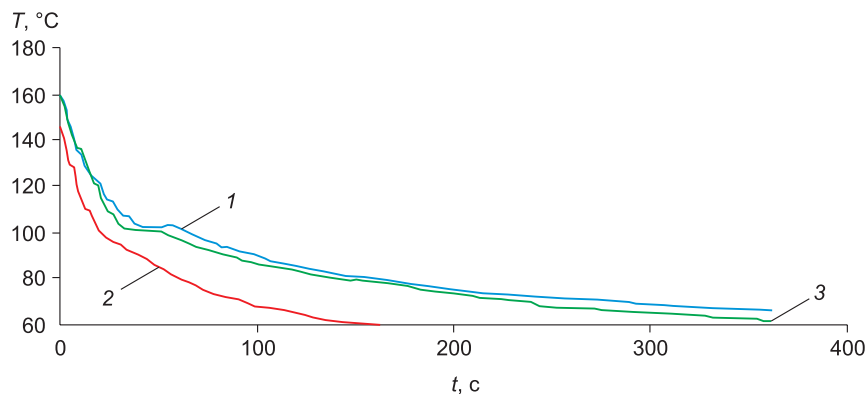


Рис. 6. Термические циклы сварки на участке вблизи шва сварных соединений при следующих условиях: 1 – сварка при 23 °С; 2 – сварка при –30 °С; 3 – сварка при –30 °С с предварительным подогревом.

Fig. 6. Thermal welding cycles in the heat-affected zone of welded joints under the following conditions: 1 – with preheating welding at 23 °C; 2 – welding at –30 °C; 3 – welding at –30 °C with preheating.

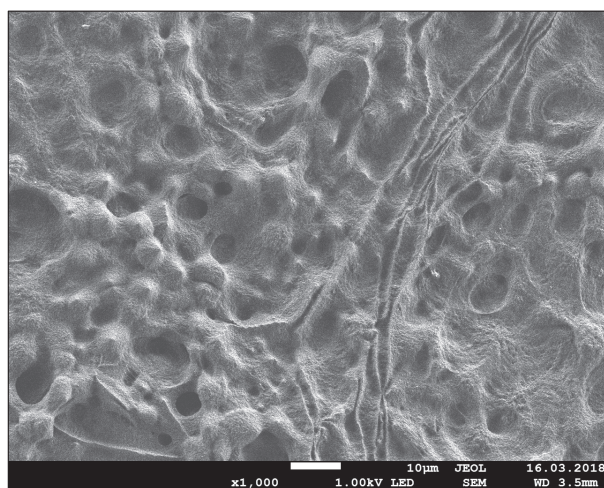


Рис. 7. Структура материала зоны термического влияния сварного соединения при температуре сварки окружающего воздуха 1 °С.

Fig. 7. Material structure of the heat affected zone of the welded joint at a welding temperature of ambient air of 1 °C.

Закключение

На научных форумах часто задают вопрос о том, что в связи с успешной разработкой технологии сварки полимерных труб при низких температурах [19–25], не исчерпана ли данная тема? Продолжение данной работы авторы видят в следующих направлениях:

– экспериментальное подтверждение отсутствия влияния температуры окружающего воздуха на надмолекулярную структуру шва полиэтилена при сварке нагретым инструментом встык и в раструб, а также с помощью муфт с закладным нагревательным элементом;

– определение зависимости толщины деструктурированного слоя сварного соединения от температуры окружающего воздуха при разных технологиях сварки;

– определение прочности деструктурированного слоя сварного соединения;

– выявление закономерностей деструкции полимера в зоне термического влияния при сварке в условиях низких температур;

– поиск путей повышения прочности сварных соединений полимерных материалов.

Литература

1. Перепелкин В.П. Полипропилен, его свойства и методы переработки. Л.: ЛДНТП, 1963. 256 с.
2. Тудрий Е.В., Галкина И.В., Собанов А.А., Галкин В.И. Физико-химия полимеров: учебно-методическое пособие. Казань: Казан. ун-т, 2015. 45 с.
3. Байгалиев Б.Е., Черноглазова А.В., Темникова С.В., Щелчков А.В., Тимербулатова И.Р., Калмыков П.Э. Исследование возможности замены теплоизоляционных труб с металлическими элементами на трубы из полисульфона // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 10. С. 96–98.
4. Гуреев В.М., Ермаков А.М., Гельманов Р.Р., Калимуллин Р.Р. Разработка перспективных отопительных приборов из неметаллических материалов // Энергетика Татарстана. 2010. № 3 (19). С. 59–62.
5. Проничев Д.В., Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Слаутин О.В. Исследование теплопроводности слоистых металлических композитов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. № 5 (31). С. 34–36.
6. Теплопроводность воздуха в зависимости от температуры и давления. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazovye-smesi/teploprovodnost->

vozduha-v-zavisimosti-ot-temperatury-i-davleniya (дата обращения 01.11.2018).

7. Герасимов А.И. Некоторые вопросы сварного соединения полимерных материалов // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сб. статей XI Междунар. научн.-практ. конф. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2018. С. 118–122.

8. Комаров Г.В. Соединение деталей из полимерных материалов: Учебное пособие. СПб.: Профессия, 2006. 592 с.

9. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н., Богдашевский А.Г. Сварка полимерных материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1988. 312 с.

10. Ботвин Г.В., Данзанова Е.В., Герасимов А.И. Методика испытаний на прочность сварного соединения полипропиленовых труб // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83, № 9. С. 70–72.

11. СП 40-101-96. Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер». М.: ГУП ЦПП, 1997. 33 с.

12. ВСН 003-88. Строительство и проектирование трубопроводов из пластмассовых труб. М.: Ротапринт ВНИИСТа, 1990. 107 с.

13. Старостин Н.П., Герасимов А.И., Ботвин Г.В., Данзанова Е.В. Сварка полипропиленовых труб при отрицательных температурах // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 4 (55). С. 7–18. doi: 10.18720/CUBS.55.1

14. Рамбиди Н.Г. Структура полимеров – от молекул до наноструктур: Учебное пособие. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. 264 с.

15. Каргин В.А., Слонимский Г.Л. Краткие очерки по физико-химии полимеров. М.: Химия, 1967. 232 с.

16. Жирнов А.Е., Аржаков М.С. Структура полимеров. Методическая разработка для теоретического курса и лабораторных работ по высокомолекулярным соединениям. М.: МГУ, 2013. 41 с.

17. Кучменова Л.Х. Термические свойства полимер-полимерных композитов на основе полипропилена.: дис. ... канд. техн. наук: Нальчик. 2014. 125 с.

18. Spina R., Spekowius M., Hopman C. Simulation of crystallization of isotactic polypropylene with different

shear regimes // *Thermochimica Acta*. 2018. Vol. 659. P. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.10.023>

19. Аммосова О.А. Численное моделирование теплового процесса сварки полиэтиленовых труб при низких температурах.: дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 2009. 126 с.

20. Starostin N.P., Ammosova O.A. Simulation of the thermal process of butt welding of polyethylene pipes at low temperatures // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. Vol. 89, N. 3. P. 714–720. <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1430-8>

21. Starostin N.P., Vasilieva M.A., Ammosova O.A. Developing the process of welding of polypropylene pipes into a socket at low temperatures. Mechanics, resource and diagnostics of materials and structures (MRDMS-2016) // *Proceedings of the 10th International Conference*. – AIP Publishing. 2016. N. 1785, 040082. <https://doi.org/10.1063/1.4967139>

22. Vasilieva M.A., Starostin N.P. Modeling of thermal process of preheating polyethylene pipe and coupling with replaceable nozzles for socket welding at low temperatures // *Proceedings of the 12th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2018)*. – AIP Conference Proceedings. 2018. N. 2053. 040100. <https://doi.org/10.1063/1.5084538>

23. Gerasimov A.I., Danzanova E.V., Botvin G.V. Research methods of strength of weld seam of polymer pipes // *Proceedings of the 12th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2018)*. – AIP Conference Proceedings. 2018. N. 2053. 030018. <https://doi.org/10.1063/1.5084379>

24. Старостин Н.П., Герасимов А.И., Данзанова Е.В., Ботвин Г.В., Андреев Б.И. Эффективность электромужфтовой сварки полиэтиленовых труб при низких температурах окружающего воздуха // Сварочное производство. 2017. № 11. С. 47–49.

25. Данзанова Е.В. Сварка полиэтиленовых труб для газопроводов при естественно низких температурах: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: РГУ им. И.М. Губкина, 2012. 18 с.

Поступила в редакцию 09.09.2019

Принята к публикации 14.11.2019

Об авторах

ГЕРАСИМОВ Александр Иннокентьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-4114-9955>, gerasimov2509@rambler.ru;

БОТВИН Глеб Владимирович, ведущий инженер, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7834-8144>, gleb-0379@mail.ru;

ДАНЗАНОВА Елена Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3445-0961>, dhv4071@mail.ru.

Информация для цитирования

Герасимов А.И., Ботвин Г.В., Данзанова Е.В. Влияние низкой температуры на надмолекулярную структуру материала сварного соединения полимерных труб // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, Т. 24, № 4. С. 152–160. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-14>

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-4-14

The effect of low temperature on the supermolecular structure of the material of welded joint in polymer pipes

A.I. Gerasimov, G.V. Botvin, E.V. Danzanova*

Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia

*dhv4071@mail.ru

Abstract. The supramolecular structure of a welded joint of polypropylene pipes, made into a bell at positive and negative ambient temperatures, is investigated. The hypothesis put forward by the authors is confirmed that, regardless of the ambient temperature when welding polypropylene, the structure of the seam under the surface layer of the welded joint becomes spherical like that of the main polymer material. When welding polymeric materials at low ambient temperatures, the effect of conductive heat removal on the formation of the supramolecular structure of the heat-affected zone of the welded joint is especially pronounced due to the low coefficient of thermal conductivity. The structure of welded joints of polypropylene pipes was studied using a scanning electron microscope. It was shown that the nature and size of supermolecular formations in the structure of welded joints made in the open air at a temperature of $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ according to the welding technology developed and patented in the Institute of oil and gas problems SB RAS are identical with the structure obtained at positive ambient temperatures. It is shown that in the heat affected zone of the welded joint of polypropylene pipes, welded even at about $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, regions with a destructured supermolecular structure found. The directions of further research are given.

Key words: welding with heated tool into the socket, polypropylene pipe, conductive heat removal, supermolecular structure, adjoining zone, heat affected zone, low ambient temperature.

Acknowledgements. The work has been accomplished within the framework of the State Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 0377-2018-0001). The authors are grateful for their support to the full member of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Doctor of Technical Sciences, prof. A.A. Okhlopova and leading engineer of the chemical department of the Institute of Natural Sciences NEFU Dyakonov A.A.

References

1. Perepelkin V.P. Polypropylene, its properties and processing methods. Leningrad: LDNTP, 1963. 256 p.
2. Tudriy E.V., Galkina I.V., Sobanov A.A., Galkin V.I. Fiziko-khimiya polimerov: uchebno-metodicheskoye posobiye. Kazan': Kazan. Univ, 2015. 45 p.
3. Baygaliyev B.E., Chernoglazova A.V., Temnikova S.V., Shchelchikov A.V., Timerbulatova I.R., Kalmykov P.E. Issledovaniye vozmozhnosti zameny teploizolyatsionnykh trub s metallicheskim elementami na trubyy iz polisul'fona // Bulletin of Kazan Technological University. 2013. Vol. 16, N. 10. P. 96–98.
4. Gureyev V.M., Ermakov A.M., Gel'manov R.R., Kalimullin R.R. Razrabotka perspektivnykh otopitel'nykh priborov iz nemetallicheskiykh materialov Energetika Tatarstana. 2010. N. 3 (19). P. 59–62.
5. Pronichev D.V., Trykov YU.P., Gurevich L.M., Slautin O.V. Issledovaniye teploprovodnosti sloistykh metallicheskiykh kompozitov // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2007. N. 5 (31). P. 34–36.
6. Thermal conductivity of air depending on temperature and pressure. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazovye-smesi/teploprovodnost-vozduha-v-zavisimosti-ot-temperatury-i-davleniya>, (accessed 01.11.2018).
7. Gerasimov A.I. Nekotoryye voprosy svarnogo soyedineniya polimernykh materialov // Nauka i innovatsii v XXI veke: Aktual'nyye voprosy, otkrytiya i

dostizheniya: sb. statey XI Mezhdunar.nauchn.-prakt. konf. CH.1. – Penza: MTSNS «Nauka i prosveshcheniye». 2018. P. 118–122.

8. Komarov G.V. Soyedineniye detaley iz polimernykh materialov: Uchebnoye posobiye. SPb.: Professiya, 2006. 592 p.

9. Zaytsev K.I., Matsyuk L.N., Bogdashevskiy A.G. Svarka polimernykh materialov: Spravochnik. M.: Mashinostroyeniye, 1988. 312 p.

10. Botvin G.V., Danzanova E.V., Gerasimov A.I. Metodika ispytaniy na prochnost' svarnogo soyedineniya polipropilenovykh trub // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2017. Vol. 83, N. 9. P. 70–72.

11. Set of Rules SP 40-101-96 Svod pravil po proektirovaniyu i montazhu truboprovodov iz polipropilena «Random sopolimer». M.: GUP TsPP, 1997. 33 p.

12. Industrial Construction Standards VSN 003-88. Stroitel'stvo i proyektirovaniye truboprovodov iz plastmassovykh trub. M.: Rotaprint VNIIST, 1990. 107 p.

13. Starostin N.P., Gerasimov A.I., Botvin G.V., Danzanova E.V. Svarka polipropilenovykh trub pri otritsatel'nykh temperaturakh // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2017. N. 4 (55). P. 7–18. doi: 10.18720/CUBS.55.1.

14. Rambidi N.G. Struktura polimerov – ot molekul do nanoansambley: Uchebnoye posobiye. Dolgoprudnyy: Izdatel'skiy Dom «Intellekt», 2009. 264 p.

15. Kargin V.A., Slonimskiy G.L. Kratkiye ocherki po fiziko-khimii polimerov / M.: Khimiya, 1967. 232 p.

16. Zhirnov A.E., Arzhakov M.S. Struktura polimerov. Metodicheskaya razrabotka dlya teoreticheskogo kursa i laboratornykh rabot po vysokomolekulyarnym soyedineniyam. M.: MGU, 2013. 41 p.

17. Kuchmenova L.KH. Termicheskiye svoystva polimer-polimernykh kompozitov na osnove polipropilena: Kand diss. Nal'chik, 2014. 125 p.

18. Spinaa R., Spekowiusb M., Hopman C. Simulation of crystallization of isotactic polypropylene with different shear regimes // Thermochimica Acta. 2018. Vol. 659. P. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.10.023>

19. Ammosova O.A. Chislennoye modelirovaniye teplovogo protsessa svarki polietilenovykh trub pri nizkikh temperaturakh. Kand diss. Yakutsk, 2009. 126 p.

20. Starostin N.P., Ammosova O.A. Simulation of the thermal process of butt welding of polyethylene pipes at low temperatures // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. Vol. 89, N. 3. P. 714–720. <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1430-8>

21. Starostin N.P., Vasilieva M.A., Ammosova O. A. Developing the process of welding of polypropylene pipes into a socket at low temperatures. Mechanics, resource and diagnostics of materials and structures (MRDMS-2016) // Proceedings of the 10th International Conference. – AIP Publishing. 2016. N. 1785, 040082. <https://doi.org/10.1063/1.4967139>

22. Vasilieva M.A., Starostin N.P. Modeling of thermal process of preheating polyethylene pipe and coupling with replaceable nozzles for socket welding at low temperatures // Proceedings of the 12th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2018). – AIP Conference Proceedings. 2018. N. 2053. 040100. <https://doi.org/10.1063/1.5084538>

23. Gerasimov A.I., Danzanova E.V., Botvin G.V. Research methods of strength of weld seam of polymer pipes // Proceedings of the 12th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2018). – AIP Conference Proceedings. 2018. N. 2053. 030018. <https://doi.org/10.1063/1.5084379>

24. Starostin N.P., Gerasimov A.I., Danzanova E.V., Botvin G.V., Andreyev B.I. Effektivnost' elektromuftovoy svarki polietilenovykh trub pri nizkikh temperaturakh okruzhayushchego vozdukha // Svarochnoye proizvodstvo. 2017. N. 11. P. 47–49.

25. Danzanova E.V. Svarka polietilenovykh trub dlya gazoprovodov pri yestestvenno nizkikh temperaturakh: Kand. diss. M., 2012. 143 p.

About the authors

GERASIMOV Aleksandr Innokentevich, candidate of technical sciences, leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk, 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-4114-9955>, gerasimov2509@rambler.ru;

BOTVIN Gleb Vladimirovich, leading engineer, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk, 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7834-8144>, gleb-0379@mail.ru;

DANZANOVA Elena Viktorovna, candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk, 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3445-0961>, dhv4071@mail.ru.

Citation

Gerasimov A.I., Botvin G.V., Danzanova E.V. The effect of low temperature on the supermolecular structure of the material of welded joint in polymer pipes // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2019, Vol. 24, N 4. P. 152–160. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-14>