

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-5-33-37>

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБ ИЗ СТАЛИ 08X18N10T ПОСЛЕ ВОЛОЧЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

© Сергей Михайлович Небогов^{1*}, Сергей Александрович Евсюков², Сергей Николаевич Свидуневич¹, Вячеслав Владимирович Мальцев³, Александр Александрович Собранин⁴

¹ ЧТПЗ, Россия; 125047, Москва, ул. Лесная, д. 5, корп. В; *e-mail: sergei.nebogov@chelpipe.ru

² МГТУ имени Н. Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5.

³ ПНТЗ, Россия, 623100, Свердловская обл., г. Первоуральск, ул. Торговая, д. 1.

⁴ Энергодиагностика, Россия, 105187, Москва, ул. Борисовская, д. 1.

Статья поступила 16 августа 2018 г. Поступила после доработки 18 марта 2019 г. Принята к публикации 20 марта 2019 г.

Представлены результаты исследования волочения труб из нержавеющей стали 08X18N10T с использованием ультразвуковых колебаний радиального типа и их влияния на физико-механические свойства изделий, а также качество поверхности. С помощью ультразвуковой установки с радиальными колебаниями исследовано влияние ультразвука на остаточные напряжения после волочения, шероховатость поверхности, физико-механические свойства и микродефекты труб. Показана эффективность влияния ультразвука на процесс волочения. Дефекты и остаточные напряжения до и после волочения под воздействием ультразвука анализировали с использованием метода магнитной памяти металла, для чего применяли измеритель концентрации напряжений ИКН-4М-16 с восьмиканальным сканирующим устройством с четырьмя двухкомпонентными датчиками (Тип 15). Установлено, что остаточные напряжения после воздействия ультразвука снизились более чем в два раза. Шероховатость поверхности после волочения с ультразвуком находилась в пределах $R_a = 0,087 - 0,092$ мкм. Физико-механические свойства исследовали посредством растяжения образцов на разрывной машине Instron серии SATEC. Напряжение текучести σ_T составило 551, предел прочности σ_B — 672 МПа. Заключение, что воздействие ультразвука при волочении труб из нержавеющей стали 08X18N10T повышает их качество за счет снижения шероховатости поверхности и улучшения физико-механических свойств.

Ключевые слова: волочение; нержавеющая сталь; трубы; ультразвук; шероховатость; напряжения; микродефекты.

STUDY OF THE PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF 08Kh18N10T STAINLESS STEEL PIPES EXPOSED TO ULTRASOUND UPON DRAWING

© Sergey M. Nebogov^{1*}, Sergey A. Evsyukov², Sergey N. Svidunovich¹, Vyacheslav V. Maltsev³, Alexander A. Sobranin⁴

¹ CHTPZ, ul. Lesnaya, d. 5, korp. B, Moscow, 125047, Russia; *e-mail: sergei.nebogov@chelpipe.ru

² Bauman Moscow State Technical University, ul. 2 Baumanskaya, 5, Moscow, 105005, Russia.

³ PNTZ, ul. Torgovaya, 1, Pervouralsk, Sverdlovskaya obl., 623100, Russia.

⁴ Energodiagnostika, ul. Borisovskaya, 1, Moscow, 105187, Russia.

Received August 16, 2018. Revised March 18, 2019. Accepted March 20, 2019.

The drawing of pipes exposed to ultrasonic vibrations of radial type and their effect on the physical and mechanical properties of the pipe, as well as on the surface quality is studied. The ultrasonic unit with radial vibrations tested under production conditions is used to study the effect of ultrasound on the residual stresses present after drawing, surface roughness, as well as on the physical and mechanical properties and microdefects of 08Kh18N10T steel pipes. Defects and residual stresses before and after drawing under the effect of ultrasound were analyzed by the method of magnetic memory, using the stress concentration meter TSC-4M-16 with an eight-channel scanning device with four two-component sensors (Type 15). It is shown that the residual stresses decreased by more than two times under the effect of ultrasound. The surface roughness after drawing with ultrasound ranged within $R_a = 0.087 - 0.092$ μm . The physicomaterial properties were studied in tensile tests on an Instron tensile testing machine (SATEC Series). The yield stress σ_T was 551, the tensile strength σ_B — 672 MPa. It is shown that the effect of ultra-

sound upon drawing pipes made of 08X18H10T stainless steel enhance their quality through reduction of the surface roughness and improved physicomechanical properties.

Keywords: drawing; stainless steel; pipes; ultrasound; roughness; stresses; microdefects.

Введение

Трубы из нержавеющей стали широко применяют в машиностроении, атомной промышленности, энергомашиностроении, нефтехимии и других сферах. Современные требования к ним значительно повысились в связи с возросшими требованиями к безопасности энергетических установок. Такие параметры, как отсутствие остаточных напряжений, низкая шероховатость поверхности, улучшенные физико-технические характеристики, существенно влияют на КПД энергоустановок, теплоотдачу и прочность конструкций под воздействием высоких температур. Особенно это актуально для труб, используемых в парогенераторах [1 – 4].

Известно, что повысить качество труб при волочении можно воздействием на очаг деформации мощных ультразвуковых колебаний (УЗК) [5 – 8].

Цель работы — исследование качества и физико-механических свойств труб из нержавеющей стали 08X18H10T после волочения с воздействием ультразвука.

Методы, оборудование, результаты исследования

Использовали экспериментальную установку для волочения труб с радиальными УЗК (рис. 1), которая включала стан холодной прокатки труб (ХПТ) 1, генератор ультразвуковых колебаний 2, пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) 3, смонтированные на дисковом волноводе 4.

Процесс волочения осуществляли следующим образом. После включения ультразвукового генератора 2 ультразвук подавался на волоку 6, в которой закрепляли трубную заготовку 5 с помощью зажима модуля волочения стана ХПТ 1. За-

тем включали подачу модуля волочения. Трубная заготовка 5 захватывалась и волочилась через волоку 6, установленную в сменной втулке 7. Далее подавалась следующая трубная заготовка.

Остаточные напряжения и дефекты металла определяли с использованием метода магнитной памяти металла (МПМ) [9]. МПМ-метод основан на регистрации и анализе распределения собственного магнитного поля рассеивания (СМПП) изделия в зонах концентрации напряжений (ЗКН). Контроль осуществляли без зачистки металла и искусственного намагничивания. Использовали остаточную намагниченность, которая сложилась естественным образом при производстве изделий.

Концентрацию напряжений (источников повреждений) оценивали по градиентам нормальной (H_y) и/или тангенциальной (H_x) составляющих СМПП [10]:

$$K_{\text{ин}} = dH_y/dx.$$

Исследовали образцы труб из нержавеющей стали 08X18H10T, полученные холодной прокаткой. Остаточные напряжения определяли с помощью измерителя концентрации напряжений ИКН-4М-16 со сканирующим устройством «Тип 15» (рис. 2).

На рис. 3 представлены магнитограмма участка образца трубы с выявленными дефектами, распределение СМПП и изменение микротвердости по Виккерсу HV в ЗКН_{max}.

Микротвердость по Виккерсу HV определяли с использованием микротвердомера TUKON2500 при усилии вдавливания $P = 0,1$ кг. Установили, что в ЗКН_{max} микротвердость на 30 % выше, чем в других областях.

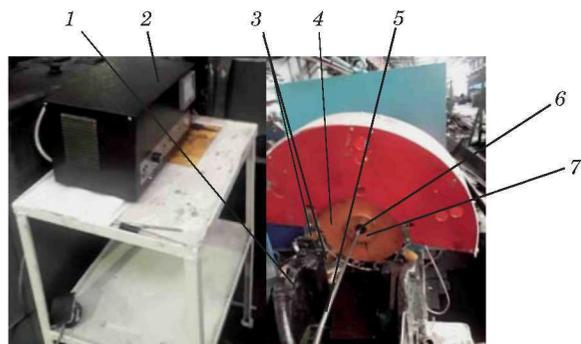


Рис. 1. Экспериментальная ультразвуковая установка для волочения труб



Рис. 2. Измеритель остаточных напряжений ИКН-4М-16 (а) и сканирующее устройство «Тип 15» (б)

Для выявления внутренних дефектов и оценки состояния структуры металла образец разрезали вдоль линии максимального изменения градиента СМПП в ЗКН_{max} (рис. 4). Затем осуществляли травление металла составом хлорной и азотной кислот в глицерине с контрольной выдержкой.

На торцевой поверхности образца в ЗКН_{max} зафиксировали повреждения в структуре металла в виде микротрещин и подповерхностного расслоения (рис. 5).

Для волочения с воздействием радиальных УЗК использовали заготовки Ø20 мм. Скорость волочения составляла 10 м/мин, мощность ультразвука — 500 Вт, амплитуда колебаний — 5 мкм. В результате получили образцы Ø16 мм с толщиной стенки 1,5 мм. Подобные трубы применяют в парогенераторах энергетических установок. Магнитограммы до и после волочения с ультразвуком представлены на рис. 6.

Видно, что остаточные напряжения после ультразвукового волочения снизились более чем в два раза, а выявленный дефект практически «залечился».

Влияние ультразвука на шероховатость поверхности [11] при волочении оценивали с использованием хлорпарафиновой смазки ХП 470. Шероховатость измеряли с помощью профилометра SJ-210. Результаты приведены на рис. 7.

Видно, что при волочении без радиальных УЗК шероховатость в три раза хуже (0,145 – 0,262 — без ультразвука и 0,087 – 0,092 мкм — с ультразвуком). Причем шероховатость $R_a = 0,087$ мкм на порядок превышает действующие требования по шероховатости парогенераторных труб ($R_a = 0,8$ мкм).

Физико-механические свойства образцов (напряжение текучести, предел прочности) определяли на разрывной машине Instron серии SATEC. Подготовку образцов на растяжение проводили в соответствии со стандартными требованиями [12, 13]. Диаграмма деформации приведена на рис. 8.

В результате испытаний получили, что напряжение текучести $\sigma_{0,2}$ составляет 551, а предел прочности σ_B — 672 МПа. Это выше типичных для стали 08X18H10T значений на 14 и 22 % соответственно и свидетельствует об улучшении физико-механических свойств материала после волочения с ультразвуком.

Заключение

Исследование образцов трубы из стали 08X18H10T методом МПМ с использованием измерителя концентрации напряжений ИКН-4М-16 со сканирующим устройством «Тип 15» показало, что в выявленной ЗКН_{max} микротвердость металла по Виккерсу HV увеличилась на 30 % от-

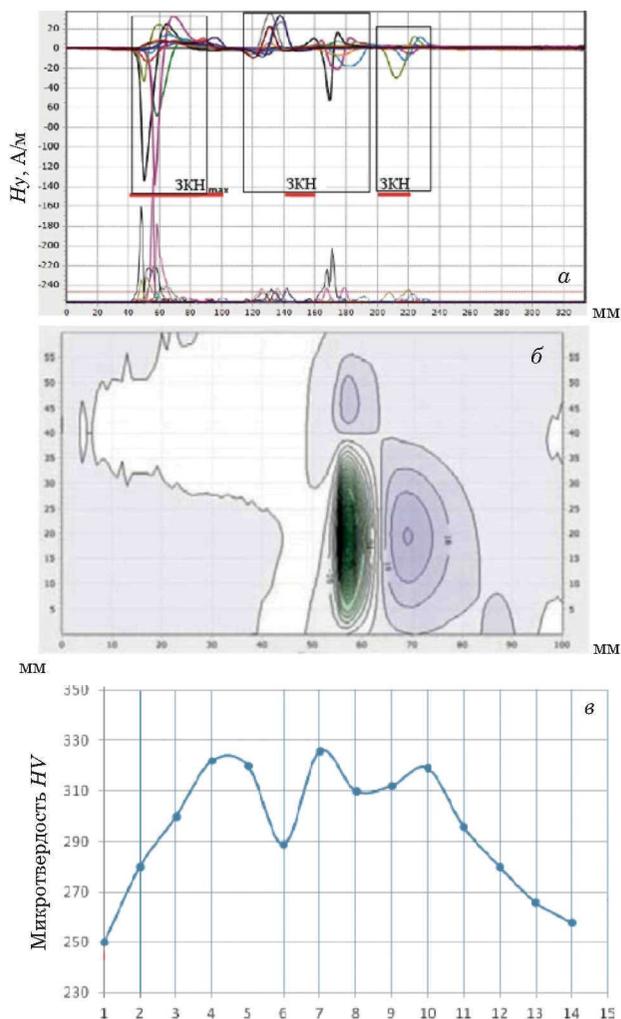


Рис. 3. Магнитограмма участка трубы с выявленными ЗКН (а), распределение СМПП (б), микротвердость по Виккерсу HV в ЗКН_{max} (в)

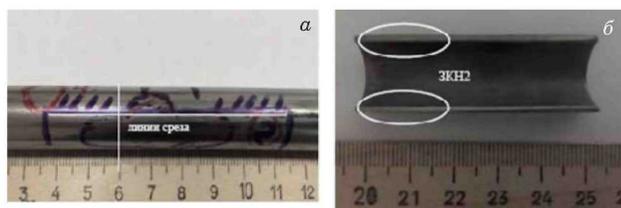


Рис. 4. Линии разреза (а) и образец после разреза вдоль ЗКН_{max} (б)

нительно значений вне ЗКН. В сечении разреза образца вдоль ЗКН_{max} после травления выявили повреждения в виде микротрещин и подповерхностного расслоения. В результате воздействия ультразвука в процессе волочения остаточные напряжения резко снижаются. УЗК позволяют «залечивать» внутренние дефекты. При этом качество поверхности значительно улучшается.

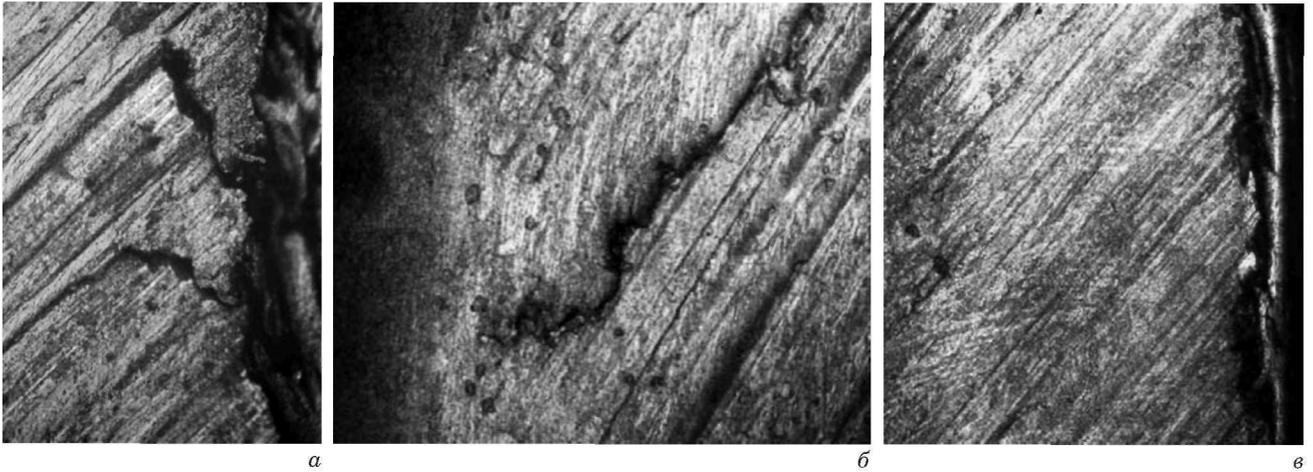


Рис. 5. Структура сечения образца внутри стенки трубы (а), в центре ЗКН_{max} (б) и в приповерхностном слое (в) после разреза и травления (×100)

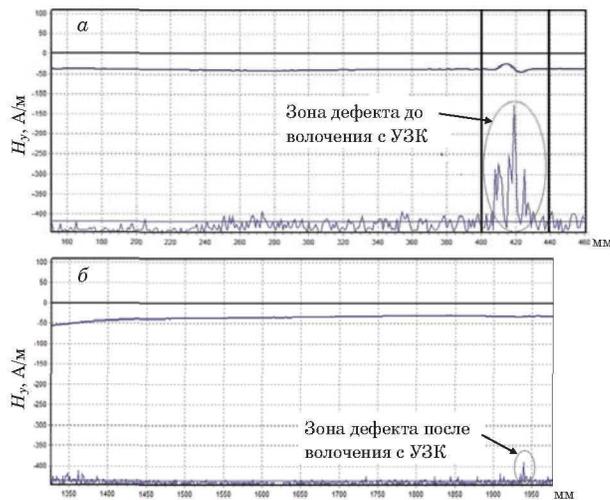


Рис. 6. Магнитограммы дефектов образца до (а) и после (б) ультразвукового волочения

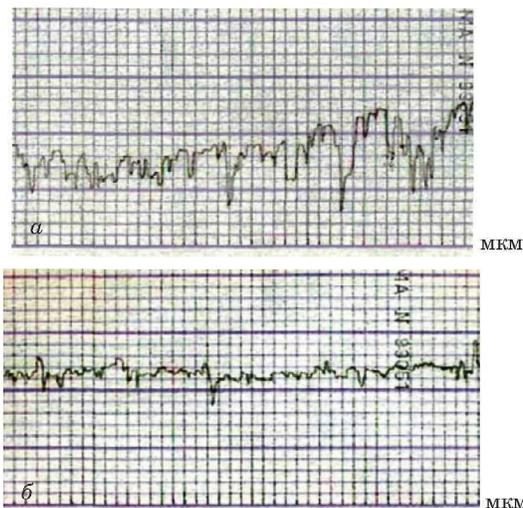


Рис. 7. Шероховатость поверхности образца после волочения без (а) и с ультразвуком (б)

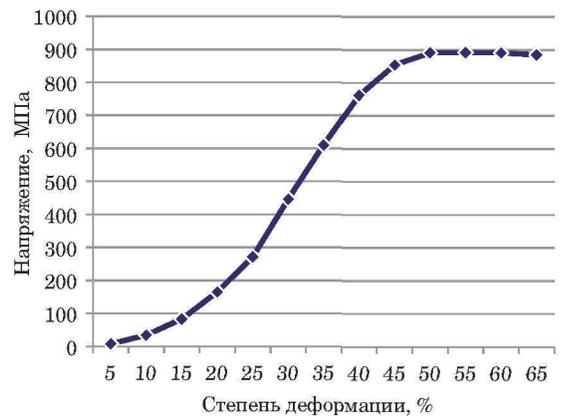


Рис. 8. Диаграмма деформации образца, полученного волочением с ультразвуком

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгунов Ю. Г., Петрова О. Ю., Лякишев С. Л. и др. Повышение надежности эксплуатации коллекторов парогенераторов ПГВ-1000 (1000 М) / Атомная энергия. 2008. Т. 104. Вып. 1. С. 32 – 38.
2. Харченко С. А., Лякишев С. Л., Денисов В. В. и др. Анализ факторов, приводящих к повреждению коллекторов парогенератора ПГВ-ЮОМ. / Сборник ВАНТ. Серия «Обеспечение безопасности АЭС». 2007. Вып. 19. С. 55 – 68.
3. Лякишев С. Л., Коротаев Н. Ф., Денисов В. В. и др. Пути предотвращения повреждений коллекторов парогенератора ПГВ-ЮОМ в зоне сварного соединения № 111 / Сборник ВАНТ. Серия «Обеспечение безопасности АЭС». 2008. Вып. 21. С. 69 – 74.
4. Харченко С. А., Трунов Н. Б., Коротаев Н. Ф. и др. Меры по обеспечению надежности сварного соединения коллектора I контура с корпусом парогенератора АЭС с ВВЭР-1000 / Теплоэнергетика. 2011. № 3. С. 27 – 33.
5. Северденко В. П., Клубович В. В., Степаненко А. В. Прокатка и волочение с ультразвуком. — Мн.: Наука и техника, 1970. — 280 с.
6. Северденко В. П., Клубович В. В., Степаненко А. В. Ультразвуковая обработка материалов. — Мн.: Наука и техника, 1981. — 295 с.
7. Абрамов О. В. Воздействие мощного ультразвука на жидкие и твердые металлы. — М.: Наука, 2000. — 311 с.

8. **Абрамов В. О., Абрамов О. В., Артемьев В. В. и др.** Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении. — М.: Янус-К, 2006. — 688 с.
9. **Власов В. Т., Дубов А. А.** Физические основы метода магнитной памяти металла. — М.: Тиссо, 2004. — 424 с.
10. **Дубов А. А., Дубов Ал. А., Колокольников С. М.** Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: учеб. пособие. — М.: Спектр, 2012. — 395 с.
11. **Головкин В. В.** Влияние ультразвуковых колебаний на деформационное упрочнение и шероховатость поверхности при резьбонарезании / Известия самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 4(2). С. 247 – 251.
12. ГОСТ 1497–84. Методы испытаний на растяжение. — М.: Стандартинформ, 2008. — 39 с.
13. ГОСТ 10006. Трубы металлические. Метод испытания на растяжение. — М.: Стандартинформ, 2010. — 12 с.
4. **Kharchenko S. A., Trunov N. B., Korotaev N. F., et al.** Measures to ensure the reliability of welded connection of the collector of the first contour with the body of the steam generator of NPP with WWER-1000 / *Teplóenergetika*. 2011. N 3. P. 27 – 33 [in Russian].
5. **Severdenko V. P., Klubovich V. V., Stepanenko A. V.** Rolling and drawing with ultrasound. — Mn.: Nauka i tekhnika, 1970. — 280 p. [in Russian].
6. **Severdenko V. P., Klubovich V. V., Stepanenko A. V.** Ultrasonic processing of materials. — Mn.: Nauka i tekhnika, 1981. — 295 p. [in Russian].
7. **Abramov O. V.** The Effect of strong ultrasound in liquid and solid metals. — Moscow: Nauka, 2000. — 311 p. [in Russian].
8. **Abramov V. O., Abramov O. V., Artemev V. V., et al.** Powerful ultrasound in metallurgy and mechanical engineering. — Moscow: Yanus-K, 2006. — 688 p. [in Russian].
9. **Vlasov V. T., Dubov A. A.** Physical bases of metal magnetic memory method. — Moscow: Tisso, 2004. — 424 p. [in Russian].
10. **Dubov A. A., Dubov Al. A., Kolokolnikov S. M.** Method of magnetic memory of metal and control devices. — Moscow: Spektr; 2012. — 395 p. [in Russian].
11. **Golovkin V. V.** Influence of ultrasonic oscillations on the deformation hardening and the surface roughness of the threading / *Izv. Samar. NTs RAN*. 2016. Vol. 18. N 4(2). P. 247 – 251 [in Russian].
12. State Standard GOST 1497–84. Methods of tensile tests. — Moscow: Standartinform, 2008. — 39 p. [in Russian].
13. State Standard GOST 10006. Metal Pipes. Tensile test method. — Moscow: Standartinform, 2010. — 12 p. [in Russian].

REFERENCES