

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением Metal forming. Technology and equipment of metal forming

Научная статья
УДК 621.774.353
DOI: 10.14529/met230305

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВАНИЯ КОНЦОВ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ QForm

Д.А. Ахмеров¹, ahmerovda@rosniti.ru
Д.Ю. Звонарев², zvonairevdi@susu.ru
С.Ю. Мотяков³, motyakovsyu@vtz.ru
А.Г. Ульянов³, UlyanovAG@vtz.ru

¹ ООО «Исследовательский центр ТМК», Москва, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

³ АО «Волжский трубный завод», Волжский, Россия

Аннотация. В настоящее время с каждым годом происходит значительный рост требований к точности геометрических параметров труб. Одним из важных показателей является овальность концов труб, для обеспечения которой в ТПЦ-3 АО «ВТЗ» имеется оборудование для калибрования. Одними из самых сложных по исполнению являются спецификации на магистральные трубы из углеродистой стали. В указанных спецификациях прописаны самые важные требования к внутреннему диаметру, овальности концов труб, локальной овальности, толщине стенки. Данные трубы с ужесточением к внутреннему овалу достаточно востребованы на Ближнем Востоке и Северной Африке, однако из-за невозможности выполнить предъявляемые требования заказчика приходилось отказываться от большого количества заказов.

Поэтому в данной статье рассмотрены условия работы калибрования концов труб с помощью наружного и внутреннего формоизменения. Выделены основные проблемы, при которых не удалось достичь требуемых параметров (повышенной овальности на концах труб).

С помощью программного продукта QForm 2D/3D проведено компьютерное моделирование с варьированием процесса калибрования с различными калибровками инструмента. Из полученных результатов моделирования выделены параметры, по величине которых можно судить о склонности инструмента к разрушению и налипанию на металл: усилия, действующие на рабочую поверхность колец в процессе калибрования; площадь пятна контакта (износ инструментов).

На основе результатов разработана новая калибровка колец как для наружного, так и для внутреннего калибрования. Были проведены практические испытания колец с различной калибровкой, а именно различными углами входного/выходного конусов.

Ключевые слова: калибрование концов труб, производство труб, компьютерное моделирование, технология производства, бесшовные трубы, дефекты труб, качество поверхности, нарезка резьбы, овальность труб, запас прочности

Для цитирования: Комплексное исследование процесса калибрования концов труб с применением QForm / Д.А. Ахмеров, Д.Ю. Звонарев, С.Ю. Мотяков, А.Г. Ульянов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2023. Т. 23, № 3. С. 50–58. DOI: 10.14529/met230305

Original article

DOI: 10.14529/met230305

COMPREHENSIVE STUDY OF THE PROCESS OF PIPE END CALIBRATION USING QForm

D.A. Akhmerov¹, ahmerovda@rosniti.ru

D.Yu. Zvonarev², zvonarevdi@susu.ru

S.Yu. Motyakov³, motyakovsyu@vtz.ru

A.G. Ulyanov³, UlyanovAG@vtz.ru

¹ LLC "Research Center TMK", Moscow, Russia

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

³ JSC "Volzhsky Pipe Plant", Volzhsky, Russia

Abstract. Currently, every year there is a significant increase in requirements for the accuracy of geometric parameters of pipes. One of the important indicators is the ovality of the pipe ends, to ensure which TPP-3 of VTZ JSC has calibration equipment. One of the most difficult specifications to fulfill are the specifications for main pipes made of carbon steel. The specified specifications spell out the most important requirements for the internal diameter, ovality of pipe ends, local ovality, and wall thickness. These pipes with tightening to the inner oval are quite in demand in the Middle East and North Africa, however, due to the inability to meet the customer's requirements, we had to refuse a large number of orders.

Therefore, this article discusses the operating conditions for calibrating pipe ends using external and internal forming. The main problems were identified in which it was not possible to achieve the required parameters (increased ovality at the ends of the pipes).

Using the Q-Form 2D/3D software product, computer simulation was carried out varying the calibration process with different tool calibrations. From the obtained modeling results, parameters were identified, by the value of which one can judge the tendency of the tool to destruction and sticking to the metal: forces acting on the working surface of the rings during the calibration process; contact patch area (tool wear).

Based on the results, a new ring calibration has been developed for both external and internal calibration. Practical tests were carried out on rings with different calibrations, namely different angles of the inlet/outlet cones.

Keywords: pipe end calibration, pipe production, computer modeling, production technology, seamless pipes, pipe defects, surface quality, thread cutting, pipe out-of-roundness, safety factor

For citation: Akhmerov D.A., Zvonarev D.Yu., Motyakov S.Yu., Ulyanov A.G. Comprehensive study of the process of pipe end calibration using QForm. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2023;23(3):50–58. (In Russ.) DOI: 10.14529/met230305

Цель работы

В последнее время значительно увеличился и продолжает расти спрос на трубу с резьбовым соединением премиум, которая имеет повышенные эксплуатационные характеристики [1–3]. Получение такого резьбового соединения предполагается при условии получения точной заготовки, в особенности на концах длиной до 300 мм [4]. Для повышения точности концы труб подвергаются операции калибрования. Поэтому успешное проведение мероприятий по отработке режимов калибрования концов труб под нарезку резьбы приобретает важное значение [5].

1. Компьютерное моделирование

В рамках мероприятий по отработке режимов калибрования концов труб решено провести компьютерное моделирование процесса калибрования концов линейных труб 273,1 × 21 мм. На первом этапе моделирования велась отработка технологии и изучение ее аспектов при калибровании внутренним кольцом (рис. 1). При использовании данного вида инструмента на толстостенном сорimente образуется овальность, превышающая 0,5 % от внутреннего диаметра труб.

После создания трехмерных моделей трубы и рабочего инструмента в редакторе

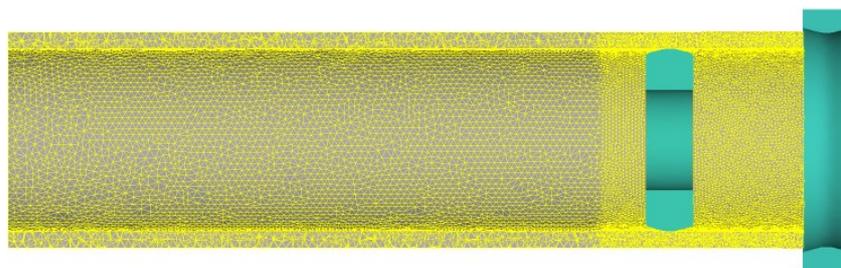


Рис. 1. 3D-модель операции калибровки концов труб
 Fig. 1. 3D model of the pipe end calibration operation

3D-геометрии QShape была произведена подготовка компьютерной модели к расчету. Осуществлено задание исходных параметров процесса. В параметрах расчета для более высокой точности на участке калибрования (≈ 250 мм) заготовка задана с оптимизированной сеткой элементов [6].

При моделировании степень экспандирования изменялась в следующем диапазоне: 0,45–1,05 %. А заготовка при моделировании задавалась с начальной овальностью 2 мм и с разнотолщинностью, обеспечиваемой величиной эксцентриситета, равной 1,5 мм.

Наиболее показательным и удобным способом обработки компьютерных моделей является использование «Программы для расчета геометрических параметров труб при моделировании в среде Qform» [7]. Данная программа позволяет производить измерения толщины стенки трубы и диаметра после моделирования. В данном случае было задано 200 сечений через каждые 5 мм, что дало возможность получить максимально точные ре-

зультаты и исключить человеческий фактор при ручном измерении.

Для получения наилучшей сходимости изначально была промоделирована (см. рис. 1) штатная технология калибровки концов труб (внутренняя раздача с последующим наружным обжатием).

На рис. 2 представлены результаты изменения диаметра и овальности труб после наружного (операция 1) и внутреннего (операция 2) калибровки концов труб.

Из рис. 2 видно, что при наружном калибровании улучшение овальности концов труб наблюдается при экспандировании 0,45–0,65 %. Однако в последующей операции (внутреннее калибрование), которая влияет на конечную овальность калиброванных труб, наилучший результат наблюдается при экспандировании 0,85 %.

Следующим этапом работы стала оценка коэффициента запаса прочности инструмента (см. таблицу, рис. 3).

В программе SolidWorks Simulation зада-

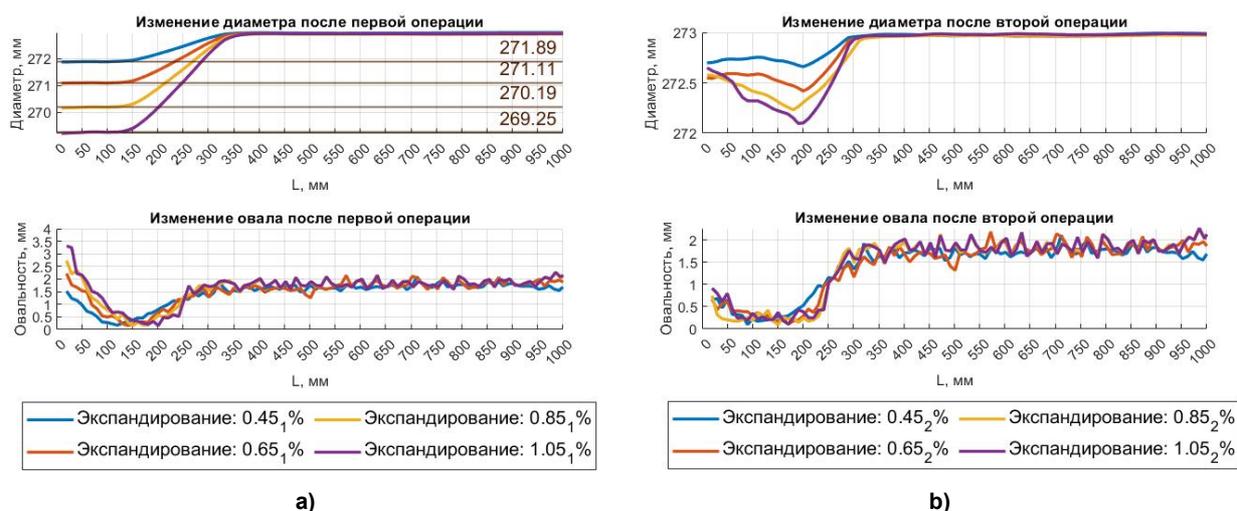


Рис. 2. Результаты замеров по диаметру и овальности после калибровки концов труб наружным кольцом (операция 1) (a) и внутренним кольцом (операция 2) (b)

Fig. 2. The results of measurements by diameter and ovality after calibrating the ends of the pipes with the outer ring (operation 1) (a) and the inner ring (operation 2) (b)

Максимальное усилие на инструмент
Maximum force on the tool

Инструмент	Степень экспандирования, %	Усилие, МН
Наружное кольцо	0,45	0,36
	0,65	0,44
	0,85	0,53
	1,05	0,68
Внутреннее кольцо	0,45	0,21
	0,65	0,44
	0,85	0,62
	1,05	0,81

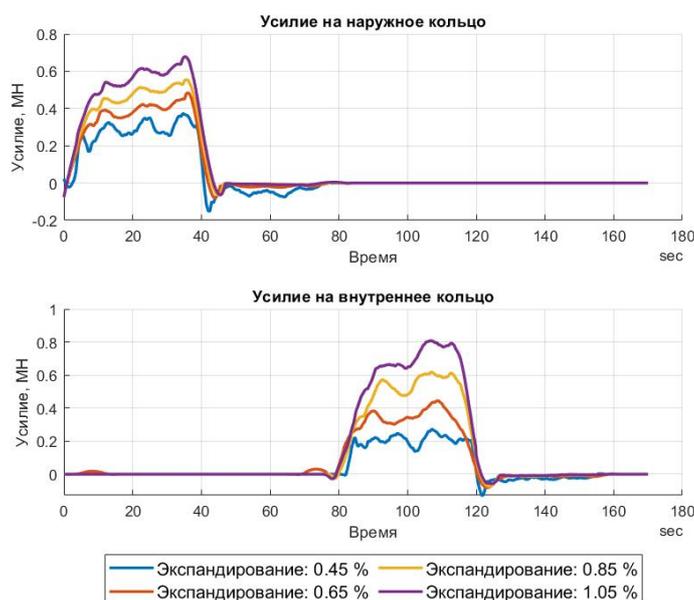


Рис. 3. Оценка усилий при калибровании труб
Fig. 3. Evaluation of forces in pipe sizing

валось усилие [8], равное максимальному усилию, полученному в программе QForm 2D/3D (см. таблицу).

В машиностроении минимальный коэффициент запаса прочности принят равным 2–2,5 [9]. В металлургии минимальный коэффициент запаса прочности принят равным 5. Поскольку в операции калибрования практически исключены ударные нагрузки, примем минимально допустимый коэффициент запаса прочности, равным 3,5. Схема нагружения рабочего инструмента показана на рис. 4, 5.

По результатам нагружения получены регрессионные зависимости влияния степени экспандирования на возникающие напряжения (рис. 6).

2. Анализ результатов

Совместно рассматривая рис. 4–6, можно сделать вывод, что при внутреннем ка-

либровании с процентом экспандирования, равным 1,05 %, могут возникнуть напряжения, при которых инструмент может разрушиться.

Поскольку было выявлено, что наиболее рациональным калиброванием является процесс калибрования со степенью экспандирования 0,65–0,85 %, то следующим этапом было исследование различных комбинаций степени экспандирования.

После измерения диаметра и овальности трубы получены следующие результаты (рис. 7).

На рис. 7 представлены две комбинации с использованием 0,65 и 0,85 % экспандирования:

- 1) наружное калибрование с 0,65 %, внутреннее с 0,85 %;
- 2) наружное калибрование с 0,85 %, внутреннее с 0,65 %.

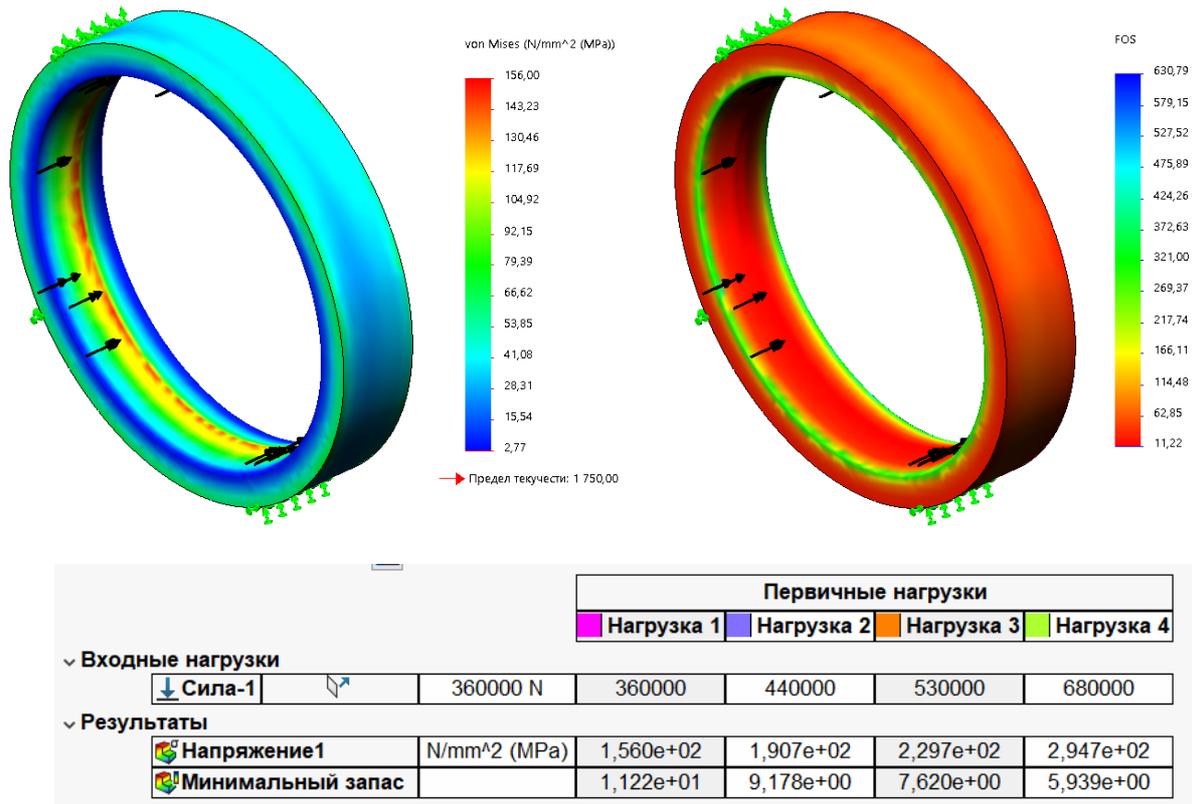


Рис. 4. Распределение напряжений и коэффициента запаса прочности для наружного кольца
 Fig. 4. Stress distribution and safety factor for the outer ring

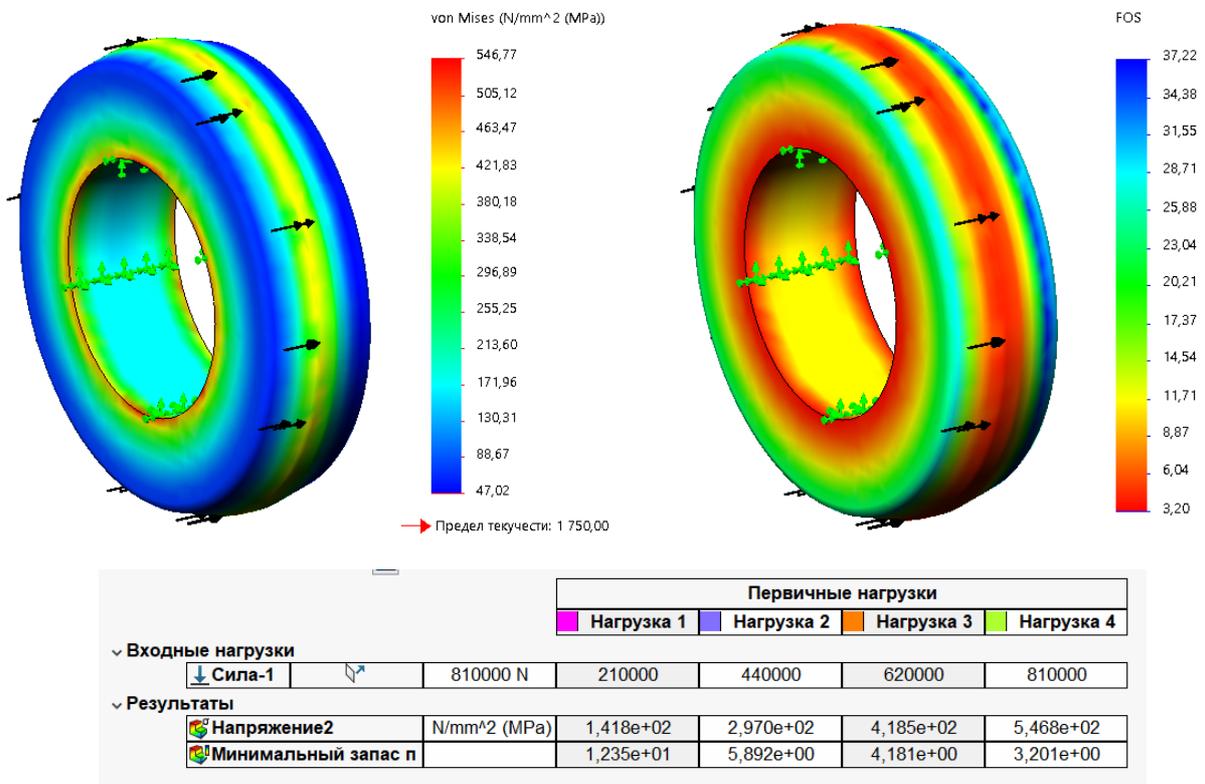


Рис. 5. Распределение напряжений и коэффициента запаса прочности для внутренних колец
 Fig. 5. Stress distribution and safety factor for inner rings

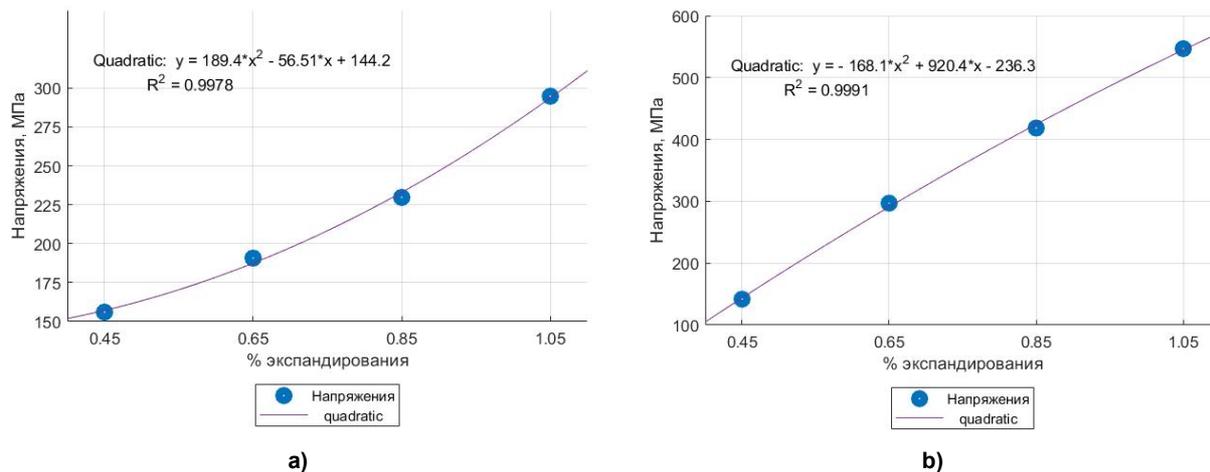


Рис. 6. Влияние степени экспандирования на возникающие напряжения: а – наружное кольцо; б – внутреннее кольцо

Fig. 6. Influence of expansion degree on emerging stresses: a – the outer ring; b – inner ring

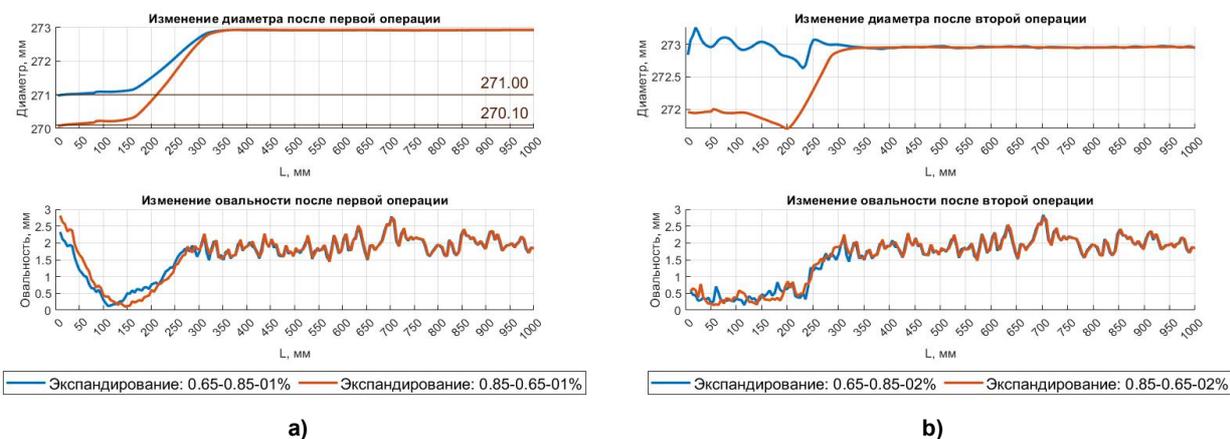


Рис. 7. Результаты замеров по диаметру и овальности после 2 операций калибрования концов труб
Fig. 7. The results of measurements by diameter and ovality after 2 operations of calibrating the ends of the pipes

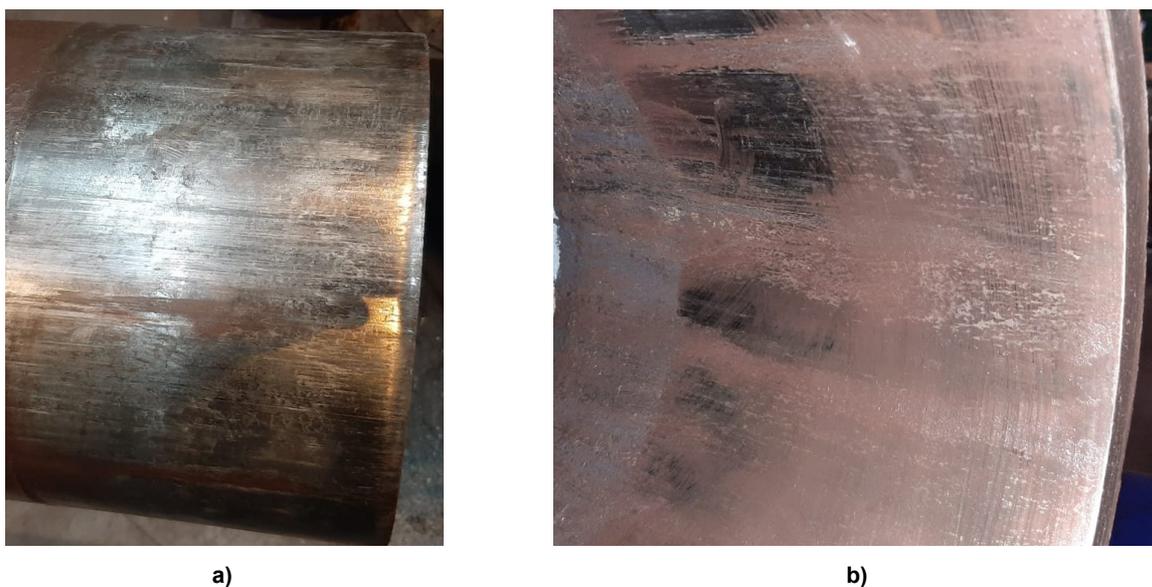


Рис. 8. Фото наружной (а) и внутренней (б) поверхности труб после калибрования концов
Fig. 8. Photo of the outer (a) and inner (b) surface of the pipes after calibrating the ends

Из рис. 7 видно, что при использовании первой комбинации возможно достичь наилучших результатов по геометрическим параметрам труб.

С использованием данных параметров осуществили опытно-промышленное исследование. На типоразмере труб 273 × 20,62 мм из марки стали 06ГФБМ удалось получить значения внутренней овальности, удовлетворяющие требованиям заказчика. Анализируя данные, полученные при измерении геометрии концов, в среднем внутренняя овальность концов составляла до калибрования 1,3 мм, после калибрования – 0,6 мм (с допуском 3,4 мм). Наружный диаметр после калибрования концов находится в поле допуска 273,5–275,0 мм. След от калибрования равномерно распределен по всей внутренней поверхности (рис. 8).

Выводы

В результате выполнения работы сделаны выводы.

1. При исследовании влияния коэффициента раздачи (экспандирования) удалось выявить следующие факты:

– при наружном калибровании улучшение

овальности концов труб наблюдается при экспандировании 0,45–0,65 %;

– при внутреннем калибровании улучшение овальности концов труб наблюдается при экспандировании 0,85 %.

2. На основе полученных данных в Qform по максимальным усилиям на рабочий инструмент проведен анализ оценки запаса прочности материала рабочего инструмента в программе SolidWorks Simulation. По результатам анализа можно сделать вывод о том, что при наружном экспандировании имеется достаточный запас прочности. При внутреннем экспандировании 1,05 % может происходить разрушение инструмента.

3. При использовании комбинации (наружное калибрование с 0,65 %, внутреннее с 0,85 %) удается достичь наилучших результатов по геометрическим параметрам труб. С использованием данных параметров предлагается осуществить опытно-промышленное исследование.

4. Проведены опытно-промышленные работы, в результате которых после калибрования на внутренней поверхности труб дефекты отсутствовали. При этом уменьшение внутренней овальности в среднем составило 0,7 мм (с 1,3 до 0,6 мм).

Список литературы

1. Разработка марок стали для труб повышенной и высокой прочности, стойких к углекислотной коррозии, в хладостойком исполнении / П.В. Крылов, А.Г. Ширяев, С.Г. Чикалов и др. // Территория «Нефтегаз». 2017. № 12. С. 48–53.
2. Лифанов В.Я. Инновации и импортозамещение в трубной промышленности (Обзор материалов XXII Международной научно-практической конференции «Трубы-2016») // Сталь. 2016. № 12. С. 51–57.
3. Технологии производства стальных бесшовных труб для добычи трудноизвлекаемых углеводородов / А.Г. Ширяев, С.Г. Четвериков, С.Г. Чикалов и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 11. С. 866–875. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-11-866-875
4. Дронов А.И. Исследование и разработка технологии и инструмента для наружной высадки концов насосно-компрессорных труб из коррозионностойких сталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09. Екатеринбург, 2018.
5. Оценка точности формоизменения концов труб при калибровании / Д.А. Ахмеров, Д.Ю. Звонарев, А.В. Выдрин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2020. Т. 20, № 4. С. 39–47. DOI: 10.14529/met200405
6. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объёмной штамповки: учеб. пособие / [А.В. Власов и др.]; под ред. А.В. Власова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 383 с.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662611 Российская Федерация. Программа для расчета геометрических параметров труб при моделировании в среде QForm. № 2020661915; заявл. 08.10.2020; опублик. 16.10.2020 / Д.Ю. Звонарев, М.А. Павлова, Д.А. Ахмеров, М.А. Зинченко; заявитель Открытое акционерное общество «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»).

8. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с.
9. Сенько В.И., Makeev С.В., Комиссаров В.В. Методические основы определения коэффициента запаса сопротивления усталости при натурных испытаниях подвижного состава // Наука – образование – производство: опыт и перспективы развития: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. Екатеринбург, 2018. Т. 1. С. 201–212.

References

1. Krylov P.V., Shiryayev A.G., Chikalov S.G., Pyshmintsev I.Yu., Chetverikov S.G., Rekin S.A. Development of Steel Grades for Low-Temperature Pipes with Increased and High Strength, Resistant to the Carbon Dioxide Corrosion. *Territorija "Neftegas" = Oil and Gas Territory*. 2017;12:48–53. (In Russ.)
2. Lifanov V.Ya. [Innovations and import substitution in the pipe industry (Review of materials of the XXII International Scientific and Practical Conference "Pipes-2016")]. *Stal'*. 2016;12:51–57. (In Russ.)
3. Shiryayev A.G., Chikalov S.G., Chetverikov S.G., Pyshmintsev I.Y., Krylov P.V. Production of seamless steel pipe for oil and gas extraction in challenging conditions. *Steel in Translation*. 2018;48(11):704–711. DOI: 10.3103/S0967091218110104
4. Dronov A.I. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii i instrumenta dlya naruzhnoy vysadki kontsov nasosno-kompressornykh trub iz korrozionnostoykikh staley: dis. kand. tekhn. nauk* [Research and development of technology and tools for external upsetting of tubing ends made of corrosion-resistant steels. Cand. sci. diss.]. Ekaterinburg; 2018. (In Russ.)
5. Akhmerov D.A., Zvonarev D.Yu., Vydrin A.V., Zinchenko M.A., Pavlova M.A. Estimation of the Accuracy of the Formation of the Ends of Pipes during Calibration. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2020;20(4):39–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/met200405
6. Vlasov A.V. (Ed.) *Konechno-elementnoye modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov kovki i ob'yemnoy shtampovki: ucheb. posobiye* [Finite element modeling of technological processes of forging and volumetric stamping: textbook]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ.; 2019. 383 с.
7. Zvonarev D.Yu., Pavlova M.A., Akhmerov D.A., Zinchenko M.A. *Programma dlya rascheta geometricheskikh parametrov trub pri modelirovanii v srede QForm* [Program for calculating the geometric parameters of pipes when modeling in the QForm environment]. Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2020662611, 2020. (In Russ.)
8. Alyamovskiy A.A. *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* [Engineering calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow: DМК Press; 2010. 464 p. (In Russ.)
9. Sen'ko V.I., Makeev S.V., Komissarov V.V. [Methodological bases for determining the fatigue resistance safety factor during full-scale tests of rolling stock]. *Nauka – obrazovanie – proizvodstvo: opyt i perspektivy razvitiya: materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: v 2 t. T. 1* [Science – education – production: experience and development prospects: materials of the XIV International Scientific and Technical Conference: in 2 volumes. Vol. 1]. Ekaterinburg; 2018. P. 201–212. (In Russ.)

Информация об авторах

Ахмеров Денис Альфредович, младший научный сотрудник лаборатории моделирования технологических процессов, ООО «Исследовательский центр ТМК», Москва, Россия; ahmerovda@rosniti.ru.

Звонарев Дмитрий Юрьевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; zvonarevdi@susu.ru.

Мотьяков Сергей Юрьевич, ведущий инженер-технолог, АО «Волжский трубный завод», Волжский, Россия; motyakovsyu@vtz.ru.

Ульянов Андрей Георгиевич, начальник лаборатории прокатки труб, АО «Волжский трубный завод», Волжский, Россия; UlyanovAG@vtz.ru.

Information about the authors

Denis A. Akhmerov, Junior Researcher of the Laboratory for Modeling Technological Processes, LLC “Research Center TMK”, Moscow, Russia; ahmerovda@rosniti.ru.

Dmitriy Yu. Zvonarev, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; zvonarevdi@susu.ru.

Sergey Yu. Motyakov, Leading Process Engineer, JSC “Volzhsky Pipe Plant”, Volzhsky, Russia; motyakovsyu@vtz.ru.

Andrey G. Ulyanov, Head of Pipe Rolling Laboratory, JSC “Volzhsky Pipe Plant”, Volzhsky, Russia; UlyanovAG@vtz.ru.

Статья поступила в редакцию 11.02.2023

The article was submitted 11.02.2023