

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

Научная статья
УДК 621.774.2
DOI: 10.14529/met250403

СНИЖЕНИЕ РАЗНОРАЗМЕРНОСТИ ДИАМЕТРА ПРИ ЭКСПАНДИРОВАНИИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

*Г.С. Баталов*¹, german.batalov@tmk-group.com, <https://orcid.org/0000-0001-9926-2913>
*Н.С. Томилина*², nadezhda.tomilina@tmk-group.com
*К.Л. Жигунов*³, konstantin.zhigunov@tmk-group.com

¹ ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия

² ПАО «ТМК», Челябинск, Россия

³ ООО «ТМК Трубопроводные решения», Челябинск, Россия

Аннотация. Объектом исследования в данной работе является технология производства электросварных труб большого диаметра способом шаговой формовки, реализованная в производственных условиях на одном из предприятий ПАО «ТМК». Целью работы является исследование процесса шагового экспандирования цилиндрическим инструментом на предмет образования циклической разноразмерности диаметра по длине трубной заготовки. Задачей исследования является разработка методов, подходов, позволяющих минимизировать образование циклической разноразмерности диаметра по длине экспандированной заготовки и достижения тем самым повышения качества готовой продукции. В рамках выполнения работ, проведен анализ технологии процесса экспандирования труб большого диаметра и определены причины образования циклической разноразмерности диаметра. Определены наиболее критические сортаменты, подверженные образованию данного отклонения. Разработаны имитационные модели процесса экспандирования труб для выбранных размеров, а также сопутствующие САД-модели. Проведено КЭМ процесса экспандирования выбранных размеров труб. Проведена оценка сходимости результатов КЭМ и фактических результатов контроля, полученных с автоматизированной установки замера геометрии труб. Выявлены зависимости, влияющие на величину отклонения диаметра, а также циклической разноразмерности.

В результате моделирования процесса экспандирования выявлена циклическая закономерность изменения диаметра, а также причины образования отклонений. Разработан способ, позволяющий снизить отклонения диаметра – внедрение в процесс зоны пропуса экспандирования цилиндрическим инструментом (далее проброс). Получена зависимость величины проброса и величины разноразмерности диаметра трубы. По результатам работы достигнуто снижения отклонения диаметра на 18–56 % в зависимости от типоразмера трубы.

Ключевые слова: сварные трубы, трубы большого диаметра, метод конечных элементов, эксперимент, деформации, шаговая формовка

Для цитирования: Баталов Г.С., Томилина Н.С., Жигунов К.Л. Снижение разноразмерности диаметра при экспандировании труб большого диаметра // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2025. Т. 25, № 4. С. 34–45. DOI: 10.14529/met250403

Original article

DOI: 10.14529/met250403

REDUCING DIAMETER VARIABILITY WHEN EXPANDING LARGE-DIAMETER PIPES

G.S. Batalov¹, german.batalov@tmk-group.com, <https://orcid.org/0000-0001-9926-2913>

N.S. Tomilina², nadezhda.tomilina@tmk-group.com

K.L. Zhigunov³, konstantin.zhigunov@tmk-group.com

¹ TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia

² PJSC TMK, Chelyabinsk, Russia

³ TMK Pipeline Solutions, LLC, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The object of the study in this paper is the technology of producing large-diameter electric-welded pipes using the step-forming method, implemented in a production environment at one of the enterprises of PAO TMK. The aim of the work is to investigate the process of step-expanding with a cylindrical tool for the formation of cyclical diameter variations along the length of the pipe blank. The objective of the study is to develop methods and approaches to minimize the formation of cyclic diameter variations along the length of the expanded blank and thereby achieve improved quality of the finished product. As part of the work, an analysis of the large-diameter pipe expansion technology was carried out and the causes of cyclic diameter variations were determined. The most critical product ranges susceptible to the formation of this deviation were identified. Simulation models of the pipe expansion process for the selected sizes, as well as accompanying CAD models, were developed. A FEM of the expansion process for the selected pipe sizes was conducted. An assessment was made of the convergence of FEM results with actual inspection results obtained using an automated pipe geometry measurement system. Dependencies influencing the magnitude of diameter deviations and cyclical variations in diameter were identified.

Modeling the expansion process revealed a cyclical pattern in diameter changes, as well as the causes of these deviations. A method for reducing diameter deviations was developed: introducing a skip zone for expanding with a cylindrical tool (hereinafter referred to as a skip zone) into the process. A relationship was obtained between the skip zone value and the magnitude of pipe diameter variation. The study demonstrated a reduction in diameter deviations by 18–56 %, depending on the pipe size.

Keywords: welded pipes, large-diameter pipes, finite element method, experiment, deformations, step forming

For citation: Batalov G.S., Tomilina N.S., Zhigunov K.L. Reducing diameter variability when expanding large-diameter pipes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2025;25(4):34–45. (In Russ.) DOI: 10.14529/met250403

Введение

В связи с постоянно растущими требованиями к качеству выпускаемой продукции как по геометрии, так и по механическим свойствам необходимо разрабатывать, совершенствовать технические и технологические параметры. Для электросварных ТБД отклонение диаметра более 1,0 мм является критическим.

Экспандирование является заключительной формообразующей операцией в переделе лист–труба. Эта операция позволяет стабилизировать механические свойства материала, а также способствует снижению остаточных напряжений. Главной задачей экспандирования является придание трубе заданных геометрических параметров (величина наружного диаметра, овальность, цилиндричность, отклонение по профилю околосшовной зоны, кривизна), которые будут соответствовать необходимым требованиям [1, 2].

Процесс осуществляется пошагово с перекрытиями между шагами 10–50 мм. Общий вид механического экспандера представлен на рис. 1.

Контроль геометрических параметров труб осуществляется автоматизированно на установке контроля диаметра, овальности и кривизны. Система предназначена для автоматизированного контроля геометрических параметров труб с помощью оптико-электронных средств контроля, а именно: максимального и минимального наружного диаметра по телу/торцу, максимальной овальности по телу/торцу, максимальной локальной кривизны, максимальной общей кривизны, максимального отклонения от правильной цилиндрической формы.

На рис. 2 представлен пример графика изменения наружного диаметра по телу трубы размером 1420 мм.

Перепад между максимальным и минимальным значением диаметра на определен-

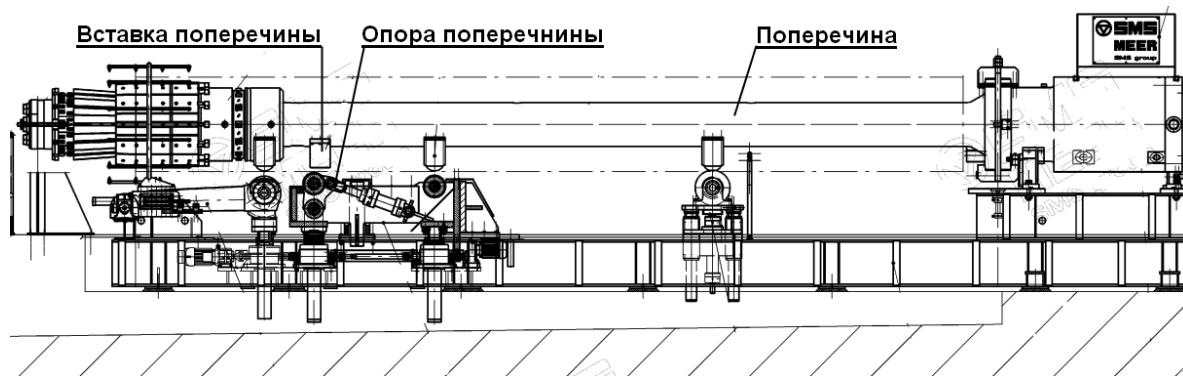


Рис. 1. Общий вид гидромеханического экспандера
Fig. 1. General view of the hydromechanical expander

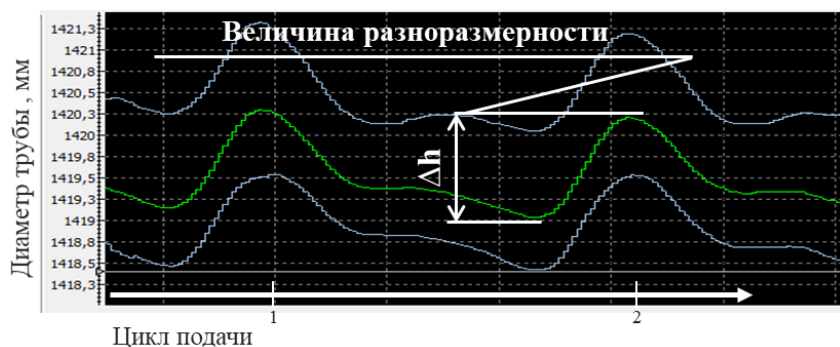


Рис. 2. График изменения наружного диаметра по телу трубы
Fig. 2. Graph of change in outer diameter along the pipe body

ных сортаментах достигает 1,5 мм (величина разноразмерности).

Существующая схема процесса экспандирования основана на пошаговом расширении с перекрытиями зон деформации инструментом между шагами с величиной 10–50 мм. При этом общепринятая в практике схема с перекрытием основана на представлении о неизбежности влияния на деформацию прямого воздействия инструмента [3–5].

Метод исследования

Конечно-элементное моделирование позволяет оптимизировать и подобрать наилучшую технологию экспандирования, варьируя

различные факторы, влияющие на разноразмерность диаметра [6–11].

Моделирование процесса экспандирования ТБД осуществляли в специализированном программном комплексе MSC Marc mentat. На рис. 3 представлен общий вид разработанной модели.

На рис. 4 представлена циклическая разноразмерность диаметра, полученная в результате расчета в 3D-постановке.

Общий вид разноразмерности характером совпадает с представленным графиком с установки автоматического измерения геометрии, имея при этом четкий цикл повторения. Для оценки величины разноразмерности диа-

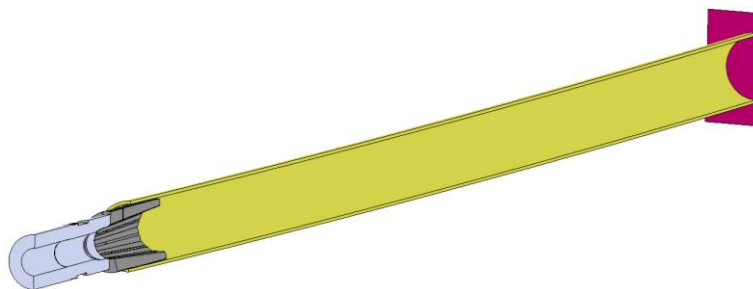


Рис. 3. Общий вид модели процесса экспандирования
Fig. 3. General view of the expansion process model

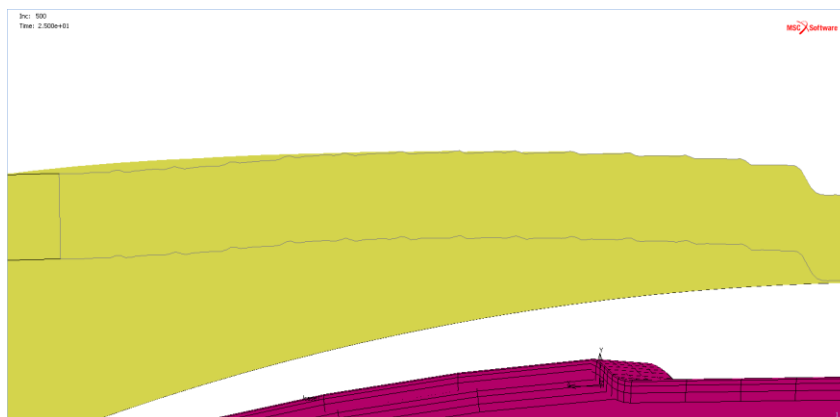


Рис. 4. Характер распределения разноразмерности диаметра
Fig. 4. Distribution pattern of diameter size variations

метра моделирование процесса экспандирования было решено выполнять в осесимметричной постановке. В табл. 1 представлены исследуемые сортаменты. Геометрия сегментов экспандера соответствует эталонным значениям без учета возможного износа. Механические свойства трубы соответствуют классу прочности K52.

На рис. 5 представлено типичное распределение остаточных полей напряжений после процесса экспандирования трубы. Зоны с максимальными остаточными напряжениями характеризуют образование максимального диаметра. Образование максимума происходит в зоне перекрытия между шагами экспандирования, т. е. в зоне вторичной деформации с

образованием характерных кольцевых полос остаточных напряжений. Минимум образуется в месте контакта «заходной» части сегмента.

На рис. 6 представлен результат расчета в осесимметричной постановке с расположением инструмента относительно образующихся максимального и минимального диаметров с распределением полей остаточных напряжений. Расположение разноразмерности имеет схожий характер со всеми рассматриваемыми сортаментами.

Минимальный диаметр образуется на рабочей части сегмента экспандера, максимум – в зоне перекрытия между шагами экспандирования и равен величине перемещения сегмента между шагами.

Исследуемые сортаменты

Таблица 1

Studied product ranges

Table 1

№	Диаметр, мм	Толщина, мм
1	530	8
2		12
3		18
4		24
5	720	8
6		12
7		16
8		20
9		24
10	1020	12
11		20
12		30
13		40
14	1420	14
15		20
16		35

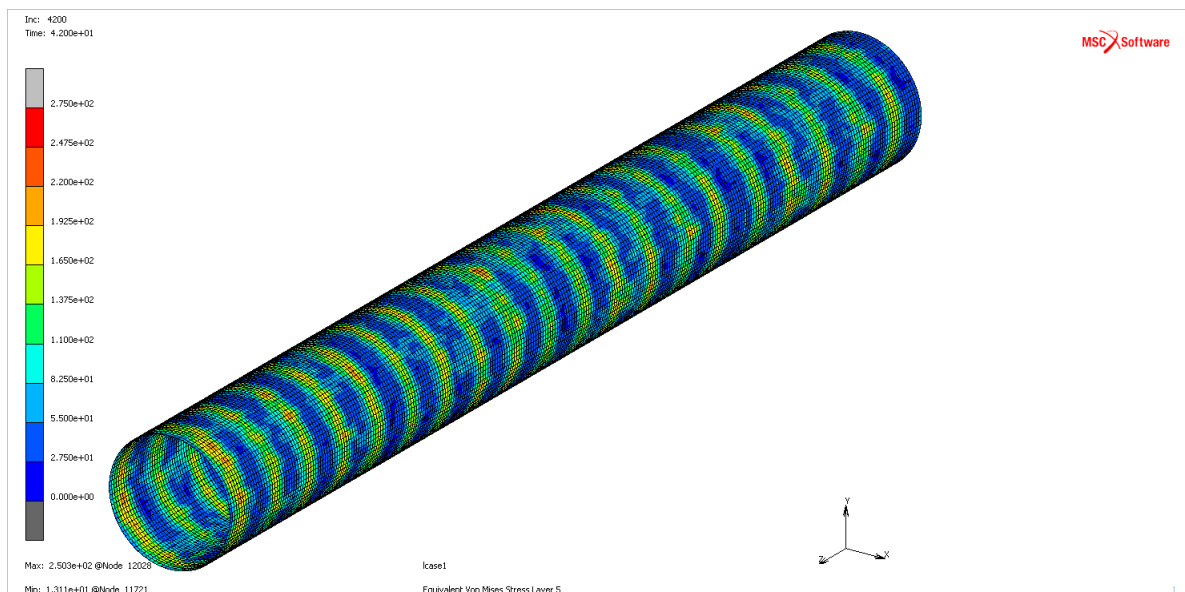


Рис. 5. Распределение полей остаточных напряжений после процесса экспандирования в объемной постановке
 Fig. 5. Distribution of residual stress fields after the expansion process in a volumetric setting

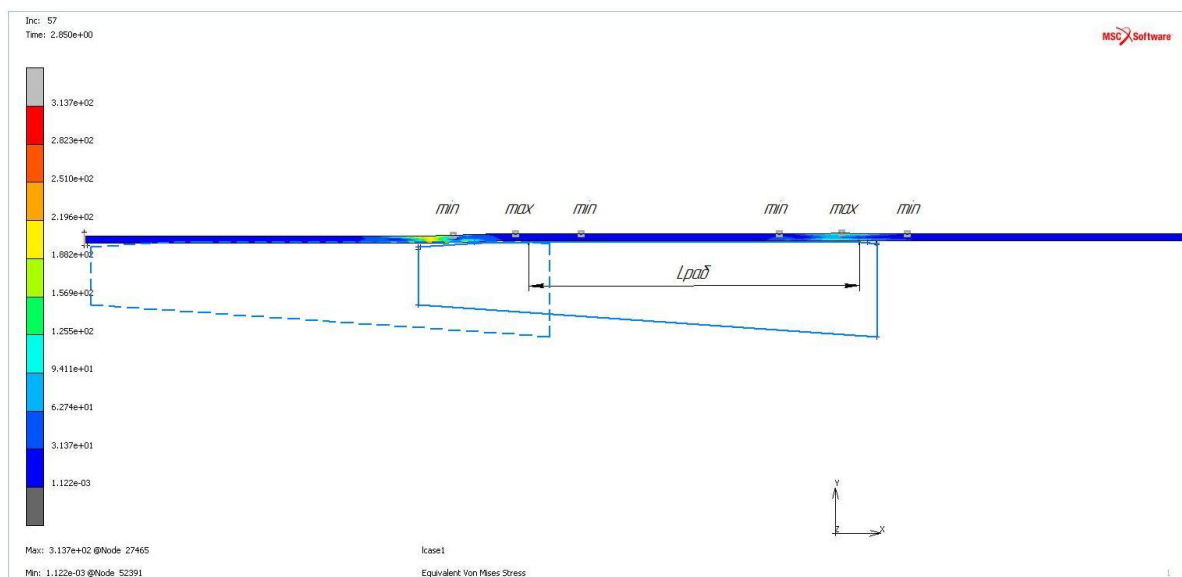


Рис. 6. Расположение max/min относительно рабочего инструмента
 Fig. 6. Max/min position relative to the working tool

Анализ результатов, оценка сходимости

По результатам измерения наружного диаметра труб, полученного в процессе моделирования, была выявлена циклическая закономерность изменения диаметра по длине трубы, при этом шаг цикла соответствует величине шага экспандирования. На рис. 7 представлен график измерения наружного диаметра рассматриваемых труб.

В табл. 2 представлены результаты моделирования процесса экспандирования труб –

минимальное и максимальное значение наружных диаметров, максимальные значения перепадов для рассчитанных труб.

На рис. 8 представлены графики зависимости максимального перепада от толщины стенки трубы. Как видно из рис. 8, зависимость носит линейный характер – с увеличением толщины стенки наблюдается увеличение максимального значения перепадов диаметра. Таким образом, толстые стенки наиболее подвержены образованию циклической разноразмерности.

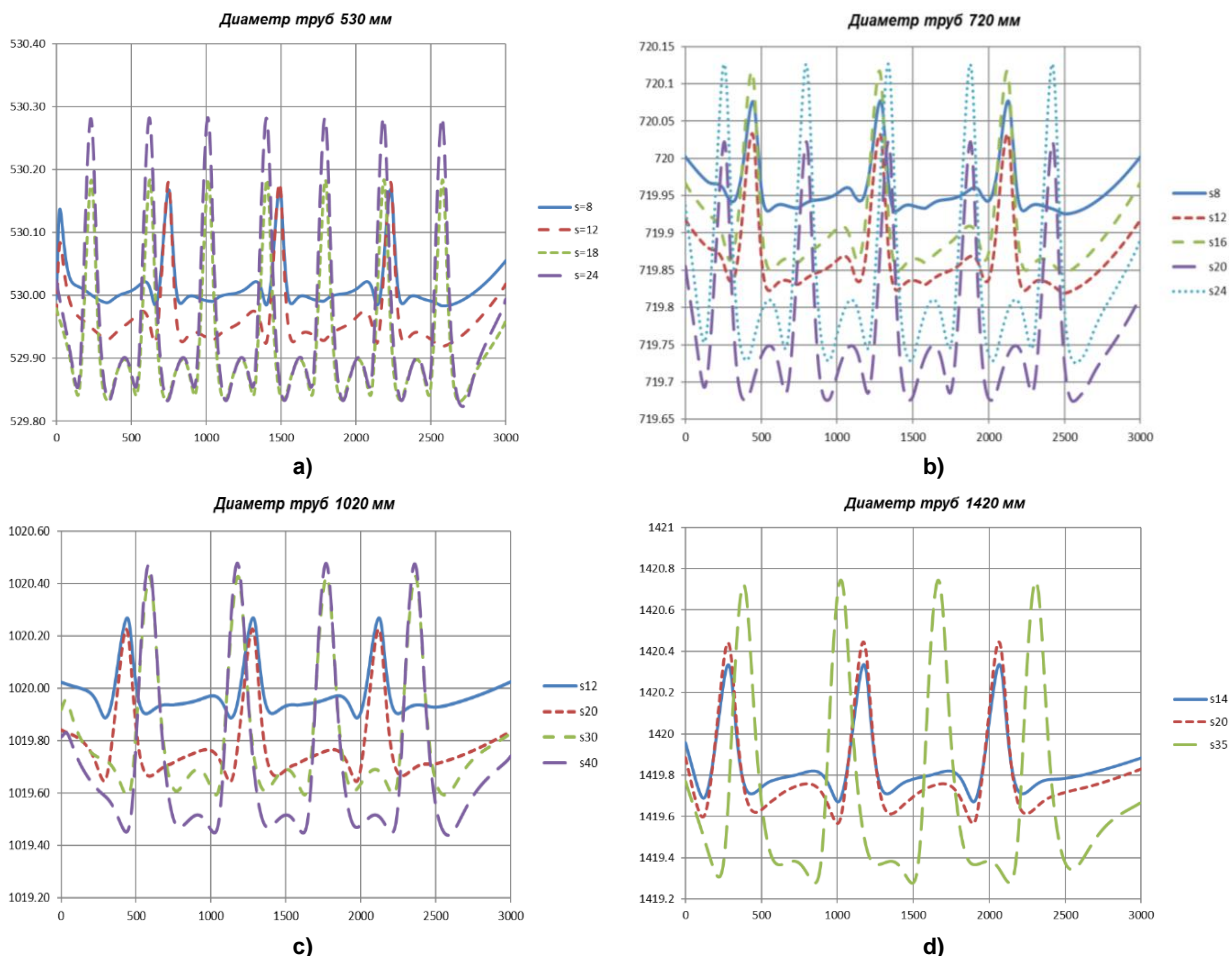


Рис. 7. Графики изменения наружного диаметра труб: а – диаметром 530 мм; б – диаметром 720 мм; с – диаметром 1020 мм; д – диаметром 1420 мм
Fig. 7. Graphs of changes in the outer diameter of pipes: a – diameter 530 mm; b – diameter 720 mm; c – diameter 1020 mm; d – diameter 1420 mm

Результаты моделирования

Таблица 2

Simulation results

Table 2

№	Диаметр, мм	Толщина, мм	D_{\min} , мм	D_{\max} , мм	ΔD , мм
1	530	8	529,98	530,17	0,19
2		12	529,92	530,18	0,26
3		18	529,83	530,18	0,35
4		24	529,82	530,28	0,46
5	720	8	719,93	720,08	0,15
6		12	719,82	720,03	0,21
7		16	719,85	720,12	0,27
8		20	719,67	720,02	0,35
9		24	719,73	720,13	0,40
10	1020	12	1019,89	1020,27	0,38
11		20	1019,64	1020,23	0,58
12		30	1019,59	1020,43	0,84
13		40	1019,44	1020,48	1,04
14	1420	14	1419,67	1420,34	0,67
15		20	1419,57	1420,45	0,88
16		35	1419,28	1420,74	1,47

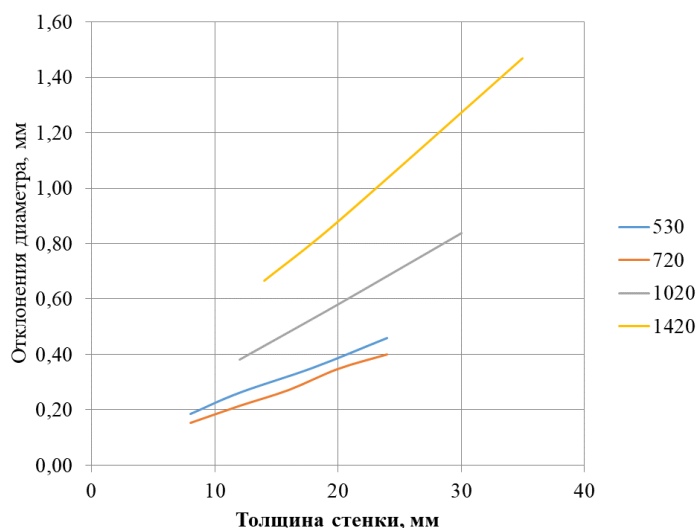


Рис. 8. Графики зависимости максимального перепада диаметра от толщины стенки трубы
Fig. 8. Graphs of the dependence of the maximum diameter difference on the pipe wall thickness

Моделирование процесса шагового экспандирования трубы 1420 × 20 мм

По результатам моделирования процесса экспандирования трубы 1420 × 20 мм К52 с варьируемой величиной проброса и по результатам измерения наружного диаметра трубы был построен график зависимости разноразмерности диаметра от величины проброса. Шаг величины проброса составляет 10 мм. Результаты измерения, соответствующие величине проброса –10 мм, соответствуют действующему технологическому процессу, когда экспандирование производят с перекрытием между шагами 10 мм. На рис. 9 представлен график зависимости разноразмерности диаметра от величины проброса.

С увеличением величины проброса наблюдается уменьшение максимального зна-

чения диаметра трубы и, как следствие, уменьшение величины разноразмерности диаметра трубы, после достижения минимума наблюдается стремительный рост. Таким образом, найдено оптимальное значение величины проброса сегментов экспандера при экспандировании трубной заготовки 1420 × 20 мм К52.

Циклическая закономерность изменения диаметра по длине трубы сохраняется, шаг цикла соответствует величине шага экспандирования. На рис. 10 представлен график изменения наружного диаметра трубы 1420 × 20 мм К52 для разной величины проброса.

С применением оптимального значения «проброса» величина разноразмерности диаметров уменьшилась в 1,69 раза по сравнению с действующей технологией.

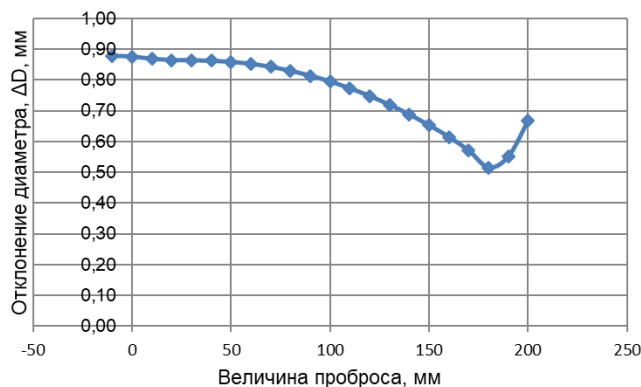


Рис. 9. График изменения отклонения диаметра трубы 1420 × 20 мм К52 в зависимости от величины проброса сегментов
Fig. 9. Graph of change in the deviation of the diameter of a 1420 × 20 mm K52 pipe depending on the size of the segment throw

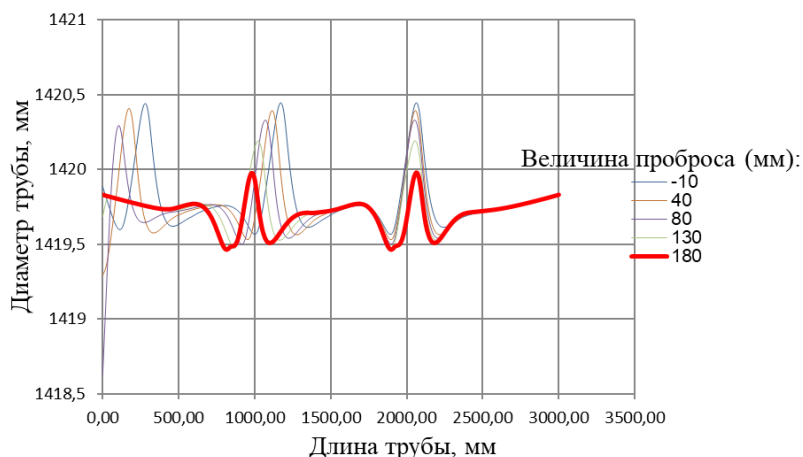


Рис. 10. График изменения диаметра трубы 1420 × 20 мм K52
Fig. 10. Graph of change in diameter of pipe 1420 × 20 mm K52

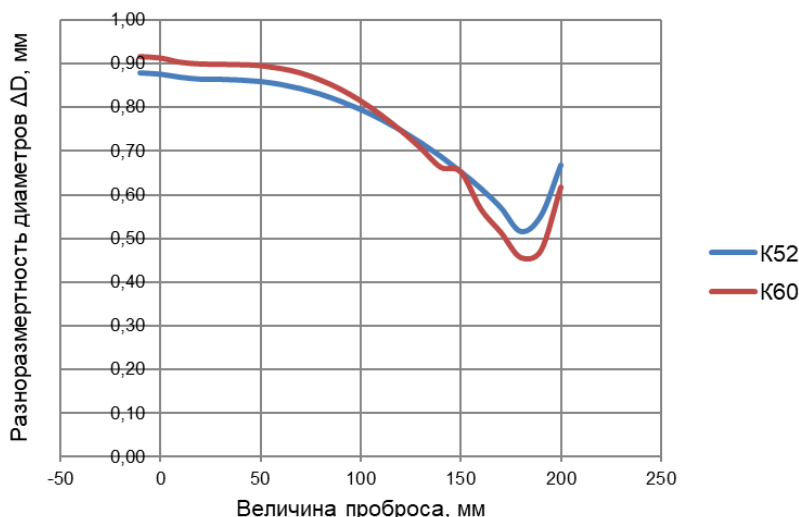


Рис. 11. График изменения отклонения диаметра трубы 1420 × 20 мм K52 и K60
в зависимости от величины проброса сегментов
Fig. 11. Graph of change in the deviation of the diameter of a 1420 × 20 mm K52 and K60 pipe
depending on the size of the segment overhang

В рамках работы было проведено исследование влияния класса прочности трубной заготовки на изменение отклонения диаметра от величины проброса сегментов на сортаменте труб 1420 × 20 мм с классом прочности K60 и K52. Графики изменения отклонения диаметра трубы 1420 × 20 мм K52 и K60 в зависимости от величины проброса сегментов представлены на рис. 11.

Минимум наблюдается при пробросе, равном 180 мм как для трубы классом прочности K52, так и для трубы классом прочности K60. Таким образом, рассчитанные оптимальные величины пробросов для ТБД, механические свойства которых соответствуют классу прочности K52, справедливы и для других классов прочности.

Апробирование результатов исследования

Опытно промышленное апробирование осуществлялось на одном из предприятий ПАО «ТМК» на трубах диаметром 1420 мм K60 на гидромеханическом экспандере [12, 13].

В процессе производства с помощью механизма подачи в шаговом режиме осуществляется экспандирование трубы по участкам путем раздачи цанговым механизмом сегментов экспандера в радиальном направлении. После завершения одного цикла раздачи и возврата инструмента в исходное положение механизм перемещал трубу на следующий участок без повторного деформирования на цилиндрической поверхности сегмента в предыдущем цикле, т. е. без пе-

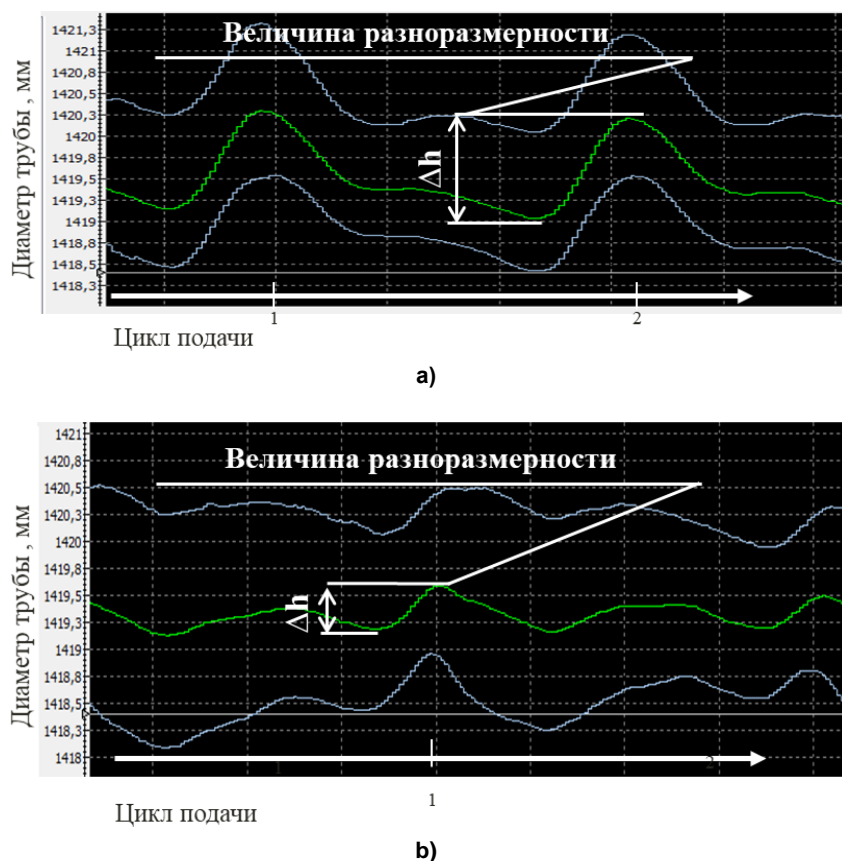


Рис. 12. Результаты автогеометрии трубы диаметром 1420 мм:
а – текущая схема экспандирования; б – с применением новой схемы
Fig. 12. Results of autogeometry of a pipe with a diameter of 1420 mm:
a – current expansion scheme; b – using the new scheme

рекрытия зон деформирования между циклами [14].

В результате использования предлагаемого способа экспандирования трубы диаметром 1420 мм величина отклонения диаметра трубы снизилась на 73 % и не превысила 0,4 мм. При экспандировании по существующей технологии величина отклонения достигает 1,5 мм. Результаты контроля геометрии труб с помощью автоматизированной системы после экспандирования по существующей технологии (без увеличения шага подачи инструмента) и с применением предлагаемого способа представлены на рис. 12а и 12б соответственно.

Заключение

1. Проведен анализ существующего способа экспандирования ТБД, проанализированы результаты автоматизированной системы контроля геометрических параметров труб.

2. В результате моделирования процесса экспандирования выявлены аналогичные по типу и характеру циклические разноразмерности диаметра. Средняя величина сходимости ре-

зультатов моделирования с результатами «автогеометрии» составила около 80 %. На сходимость расчета повлияли факторы, которые не были учтены: колебание толщины стенки, износ сегментов экспандера, неоднородность механических свойств, отсутствие накопленной деформации за предыдущий передел.

3. В результате моделирования процесса экспандирования выявлена циклическая закономерность изменения диаметра по длине трубы; шаг цикла соответствует величине шага экспандирования. Образование минимального диаметра наблюдается на рабочей части сегмента экспандера, максимальный диаметр образуется в зоне перекрытия между шагами экспандирования в зоне вторичной деформации, что соотносится с максимальными остаточными напряжениями на теле трубы.

4. С увеличением толщины стенки (в пределах одного диаметра) наблюдается прямо пропорциональное увеличение максимального значения перепадов диаметра и толщины стенки трубы.

5. По результатам расчета выявлено, что к наиболее критическим сортаментам, подверженным образованию циклической разноразмерности диаметра по длине трубной заготовки, относятся трубы с большей толщиной стенки.

6. Проведено моделирование процесса пошагового экспандирования с «пробросом» инструмента для ТБД, механические свойства которых соответствуют классу прочности K52/K60. Выявлено, что оптимальная величина

на проброса не зависит от влияния механических свойств и справедлива для всех используемых классов прочности.

7. С увеличением величины проброса наблюдается уменьшение величины разноразмерности диаметра по длине трубы до достижения минимума, после чего наблюдается резкий рост величины отклонения диаметра. С применением «проброса» средняя величина отклонения диаметра на трубе диаметром 1420 мм уменьшилась на 73 %.

Список литературы

1. Ильичев В.Г. Эффективность современных технологий производства и качество труб большого диаметра // *Черные металлы*. 2019. № 9. С. 17–24.

2. Технология и оборудование трубного производства: учеб. для вузов / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 608 с.

3. Разработка технологических режимов участка формовки трубной заготовки в линии ТЭСА 1420 ОАО «Челябинский трубный завод» / С.В. Самусев, А.И. Романцов, К.Л. Жигунов и др. // *Производства проката*. 2011. № 10. С. 20–28.

4. Самусев С.В., Люскин А.В., Больдт В.В. Анализ способов формовки заготовки для производства труб большого диаметра // *Сталь*. 2009. № 12. С. 46–49.

5. Дерикс В., Гензер Б. Новые технологии экономичного и гибкого производства труб большого диаметра // *Труды XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Трубы 2005»*. Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2005. Ч. 1. С. 105–108.

6. Исследование сходимости результатов моделирования в различных программных комплексах при производстве тройников штампованных / К.С. Торгонин, Г.С. Баталов, В.В. Широков, Л.В. Радионова // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. 2021. Т. 21, № 2. С. 58–69. DOI: 10.14529/met210206

7. Баталов Г.С., Лунев А.А., Радионова Л.В. Разработка новых способов производства двухшовных труб большого диаметра // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. 2019. Т. 19, № 4. С. 37–48. DOI: 10.14529/met190405

8. Development of new methods for the production of large-diameter double-seam pipes / G.S. Batalov, L.V. Radionova, V.D. Lezin, A.A. Lunev // *Solid State Phenomena*. 2021. Vol. 316. P. 538–548. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.316.538

9. Залавин Я.Е. Расчет параметров вальцевой формовки с целью минимизации неравномерности деформации заготовки в поперечном сечении // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. 2020. Т. 20, № 4. С. 23–29. DOI: 10.14529/met200403

10. Галкин В.В., Чебурков А.С., Пачурин Г.В. Оценка напряженно-деформированного состояния металла трубных заготовок, изготовленных пошаговой формовкой, методом математического моделирования // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 2. С. 1–9.

11. Богатов А.А., Нухов Д.Ш., Пьянков К.П. МКЭ-моделирование процесса толстолистовой прокатки. Анализ неоднородности напряженно-деформированного состояния в очаге деформации // *Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: сб. тр. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та*, 2014. С. 185–189.

12. Дубинский Ф.С., Соседкова М.А. Математическое планирование эксперимента в прокатке: конспект лекций. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 25 с.

13. Волкова П.А., Шипунов А.Б. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах. М.: Экспресс, 2008. 60 с.

14. Патент RU 2840419 С1. Способ экспандирования сварных труб / Г.С. Баталов, К.Л. Жигунов, Н.С. Томилина. Опубл. 23.05.2025, Бюл. № 15.

References

1. Ilyichev V.G. Efficiency of modern production technologies and quality of large-diameter pipes. *Chernye metally*. 2019;(9):17–24. (In Russ.)
2. Osadchiy V.Ya., Vavilin A.S., Zimovets V.G., Kolikov A.P. *Tekhnologiya i oborudovanie trubnogo proizvodstva: ucheb. dlya vuzov* [Technology and equipment of pipe production: Textbook for universities]. Moscow: Intermet Engineering, 2001. 608 p. (In Russ.)
3. Samusev S.V., Romantsov A.I., Zhigunov K.L., Boldt V.V., Sigida M.S. Development of technological modes of the pipe billet forming section in the TESA 1420 line at Chelyabinsk Pipe Plant JSC. *Rolling*. 2011;(10):20–28. (In Russ.)
4. Samusev S.V., Lyuskin A.V., Boldt V.V. Analysis of blank molding methods for the production of large diameter pipes. *Steel*. 2009;(12):46–49. (In Russ.)
5. Deriks V., Genzer B. [New technologies for economical and flexible production of large diameter pipes]. In: *Proceedings of the XIII International scientific-practical conf. "Tube & Pipes 2005"*. Part 1. Chelyabinsk: JSC "RosNITP"; 2005. P. 105–108. (In Russ.)
6. Torgonin K.S., Batalov G.S., Shirokov V.V., Radionova L.V. Study of the Simulation Results Convergence in Various Software Complexes in the Production of Stamp Welded Tee. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2021;21(2):58–69. (In Russ.) DOI: 10.14529/met210206
7. Batalov G.S., Lunev A.A., Radionova L.V. Development of New Methods of Manufacturing of Large-Diameter Double-Seam Pipes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2019;19(4):37–48. (In Russ.) DOI: 10.14529/met190405
8. Batalov G.S., Radionova L.V., Lezin V.D., Lunev A.A. Development of new methods for the production of large-diameter double-seam pipes. *Solid State Phenomena*. 2021;316:538–548. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.316.538
9. Zalavin Ya.E. Calculation of the Parameters of the Roll Forming with the Purpose of Minimizing the Uniformity of Deformation in the Cross Section. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2020;20(4):23–29. (In Russ.) DOI: 10.14529/met200403
10. Galkin V.V., Cheburkov A.C., Pachurin G.V. Evaluation of stress-strain of metalla billets made turn-based molding method of mathematical modeling. *Modern Problems of Science and Education*. 2013;(2):1–9. (In Russ.)
11. Bogatov A.A., Nukhov D.Sh., Pyankov K.P. FEM modeling heavy plate rolling. Analysis of non-uniform stress-strain state in the deformation. In: *Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: Coll. of papers*. Ekaterinburg: Ural University Publ., 2014. P. 185–189. (In Russ.)
12. Dubinskiy F.S., Sosedkova M.A. *Matematicheskoe planirovanie eksperimenta v prokatke: konspekt lektsiy* [Mathematical planning of experiment in rolling: Lecture notes]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 2007. 25 p. (In Russ.)
13. Volkova P.A., Shipunov A.B. *Statisticheskaya obrabotka dannykh v uchebno-issledovatel'skikh rabotakh* [Statistical data processing in educational and research works]. Moscow: Ekopress, 2008. 60 p. (In Russ.)
14. Batalov G.S., Zhigunov K.L., Tomilina N.S. Method of expanding welded pipes. Patent RU 2840419 C1, 2025.

Информация об авторах

Баталов Герман Сергеевич, начальник сектора технологии формовки труб, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия; german.batalov@tmk-group.com.

Томила Надежда Сергеевна, ведущий инженер группы имитационного моделирования, ПАО «ТМК», Челябинск, Россия; nadezhda.tomilina@tmk-group.com.

Жигунов Константин Леонидович, начальник бюро формообразования и технологического инструмента, ООО «ТМК Трубопроводные решения»; konstantin.zhigunov@tmk-group.com.

Information about the authors

German S. Batalov, Head in the Pipe Forming Sector, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia; german.batalov@tmk-group.com.

Nadezhda S. Tomilina, Lead Engineer of the Simulation Modeling Group, PJSC TMK, Chelyabinsk, Russia; nadezhda.tomilina@tmk-group.com.

Konstantin L. Zhigunov, Head of the Forming and Technological Tooling Bureau, TMK Pipeline Solutions, LLC, Chelyabinsk, Russia; konstantin.zhigunov@tmk-group.com.

Статья поступила в редакцию 13.09.2025

The article was submitted 13.09.2025