

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

Научная статья
УДК 621.771.09
DOI: 10.14529/met240204

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ ДИАМЕТРОМ 2520 мм

Г.С. Баталов¹, german.batalov@tmk-group.com, <https://orcid.org/0000-0001-9926-2913>

С.В. Шандер², sergey.shander@tmk-group.com

А.Б. Гизатуллин², anton.gizatullin@tmk-group.com

Р.Д. Шакиров², ruslan.shakirov@tmk-group.com

А.О. Котлов², aleksandr.kotlov@tmk-group.com

¹ ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия

² ПАО «ТМК», Челябинск, Россия

Аннотация. Укрепление береговых линий в условиях Крайнего Севера является сложной и технически трудновыполнимой задачей. Для минимизации неконтролируемых природных катаклизмов и достаточно суровых погодных условий, а также в связи с большими объемами портов укрепление береговой линии производится трубным шпунтом и сваями диаметром 2520 мм. Продукция является востребованной и высокомаржинальной. Данный сортament ранее не производился в промышленных масштабах в компании ПАО «ТМК» и в целом на территории РФ. Единственным способом, который позволяет получать требуемую заготовку, является способ JCOE. В данной статье описаны основные этапы освоения труб диаметром 2520 мм.

1. С использованием современных методов инженерного анализа, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), была проведена оценка технической возможности производства труб, а также разработка технологических режимов подгибки и формовки труб.

2. Проведен анализ влияния механических свойств на геометрические показатели готовой продукции. Предложена новая методика контроля геометрии трубной заготовки в процессе шаговой формовки с последующей предиктивной аналитикой. Получены уравнения множественной регрессии, позволяющие оценить влияние изменения контролируемых размеров листовой заготовки в процессе шаговой формовки.

3. С использованием современных пакетов САД-моделирования был разработан и спроектирован новый автоматизированный участок по сборке заготовок.

4. Разработана технологическая схема производства труб нового сортамента.

5. Проведены опытные работы по производству труб.

Разработанный новый способ производства труб диаметром 2520 мм расширил существующий сортament предприятия, а также показал положительную экономическую эффективность за счет высокой маржинальной стоимости. Новый метод производства подтвердил свою работоспособность и на практике (производство опытной партии) доказал возможность существования.

Ключевые слова: новый вид продукции, сварные трубы, трубы большого диаметра, шаговая формовка, метод конечных элементов

Для цитирования: Разработка технологии и освоение производства труб диаметром 2520 мм / Г.С. Баталов, С.В. Шандер, А.Б. Гизатуллин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 2. С. 29–40. DOI: 10.14529/met240204

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND MASTERING THE PRODUCTION OF PIPES WITH A DIAMETER OF 2520 mm

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

S.V. Shander², sergey.shander@tmk-group.com

A.B. Gizatullin², anton.gizatullin@tmk-group.com

R.D. Shakirov², ruslan.shakirov@tmk-group.com

A.O. Kotlov², aleksandr.kotlov@tmk-group.com

¹ LLC “Research Center Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia

² PJSC “Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Strengthening coastlines in the Far North is a complex and technically difficult task. To minimize uncontrollable natural disasters and fairly severe weather conditions, as well as due to the large volumes of ports, the shoreline is strengthened with pipe sheet piles and piles with a diameter of 2520 mm. The products are in demand and have high margins. This assortment has not previously been produced on an industrial scale by PJSC TMK and in the Russian Federation in general. The only method that allows you to obtain the required workpiece is the JCOE method. This article describes the main stages of development of pipes with a diameter of 2520 mm.

1. Using modern engineering analysis methods based on the finite element method (FEM), the technical feasibility of pipe production was assessed, as well as the development of technological pipe bending and forming modes.

2. An analysis of the influence of mechanical properties on the geometric parameters of the finished product was carried out. A new technique for monitoring the geometry of a pipe blank during step forming with subsequent predictive analytics is proposed; Multiple regression equations have been obtained to evaluate the impact of changes in the controlled dimensions of the sheet blank during the step molding process.

3. Using modern CAD modeling packages, a new automated section for the assembly of workpieces was developed and designed.

4. A technological scheme for the production of pipes of a new range has been developed.

5. Experimental work on the production of pipes was carried out.

The developed new method for producing pipes with a diameter of 2520 mm expanded the existing range of the enterprise, and also had positive economic efficiency due to the high marginal cost. The new production method has confirmed its efficiency and in practice (production of a pilot batch) has proven its feasibility.

Keywords: new type of product, welded pipes, large-diameter pipes, step molding, finite element method

For citation: Batalov G.S., Shander S.V., Gizatullin A.B., Shakirov R.D., Kotlov A.O. Development of technology and mastering the production of pipes with a diameter of 2520 mm. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(2):29–40. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240204

Введение

Укрепление береговых линий в условиях Крайнего Севера является сложной и технически трудновыполнимой задачей. Для минимизации неконтролируемых природных катаклизмов и достаточно суровых погодных условий, а также в связи с большими объемами портов укрепление береговой линии производится трубным шпунтом и сваями диаметром 2520 мм с толщиной стенки от 24 до

34 мм. Данный способ обеспечивает высокую прочность, устойчивость и длительную эксплуатацию строению. Однако нет широкого распространения по укреплению береговой линии трубным шпунтом и сваями свыше 1420 мм. Соответственно, нет предприятий на территории РФ, которые готовы в промышленном масштабе, с высокой производительностью, а также с высокой автоматизацией производить трубы диаметром 2520 мм с

толщиной стенки от 24 до 34 мм. Несмотря на то, что данная продукция предназначена для строительных конструкций, требования к ее механическим и геометрическим свойствам такие же, как у нефте- и газопроводных труб.

Для разработки и освоения производства труб диаметром свыше 1420 мм были рассмотрены и исследованы основные способы промышленного производства труб, которыми обладает компания ПАО «ТМК»:

- 1) УОЕ-формовка;
- 2) РВ-формовка (формовка в вальцах);
- 3) JCOE-формовка (шаговая формовка).

В связи с конструктивными ограничениями РВ- и УОЕ-формовки, единственным способом, который позволяет получать требуемую заготовку, является способ JCOE, в основе которого лежит шаговая формовка [1–8].

Метод исследования

Для оценки возможности производства труб диаметром 2520 мм было проведено исследование с применением конечно-элементного моделирования в специализированном программном комплексе MSC Marc Mentat. С применением цифрового двойника был смоделирован процесс производства труб исследуемого сортамента в условиях цеха «Высота 239» [9–13]. Основным целевым показателем рас-

четов было получение геометрии трубной заготовки, удовлетворяющей ГОСТ 33228 (овальность не более 1,5 %, отклонения профиля от теоретической окружности не более 5 мм), при этом важно использование только существующего формообразующего инструмента. Общий вид цифрового двойника представлен на рис. 1.

Требуемые геометрические показатели заготовки представлены на рис. 2.

По результатам расчета были получены теоретические размеры заготовки, а также возможные геометрические отклонения профиля заготовки (рис. 3).

По результатам расчета были подобраны технологические режимы и разработаны технологические карты на опытное производство труб.

Полученные в результате расчета геометрические отклонения не превышают допустимых значений, указанных в ГОСТ 33228.

Для контроля геометрии в процессе шаговой формовки был проведен анализ с применением конечно-элементного моделирования [14, 15]. Было исследовано влияние колебаний и неоднородности механических свойств на формируемую геометрию трубных заготовок, так, сортament труб свыше 1420 мм имеет ограничение в отделочных операциях,

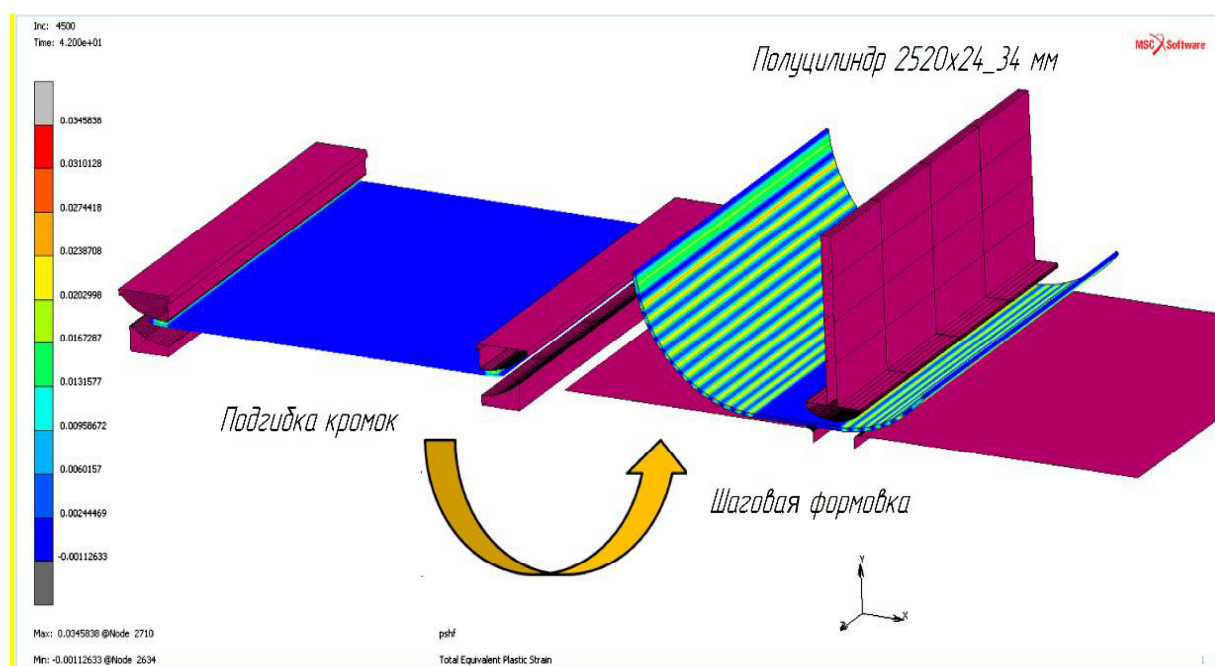


Рис. 1. Общий вид цифровой модели формовки
Fig. 1. General view of the digital molding model

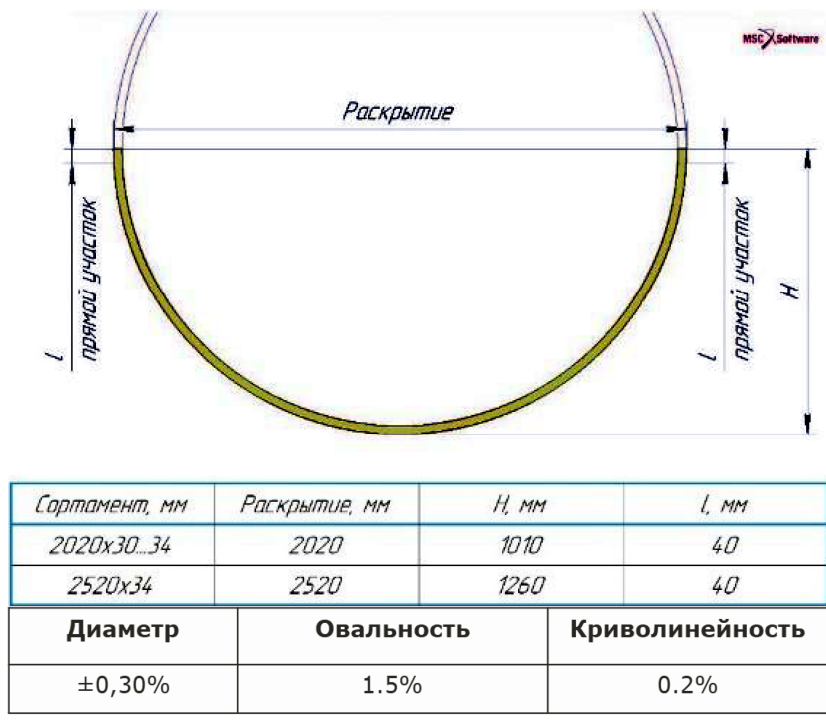


Рис. 2. Требуемые геометрические характеристики заготовки
 Fig. 2. Required geometric characteristics of the workpiece

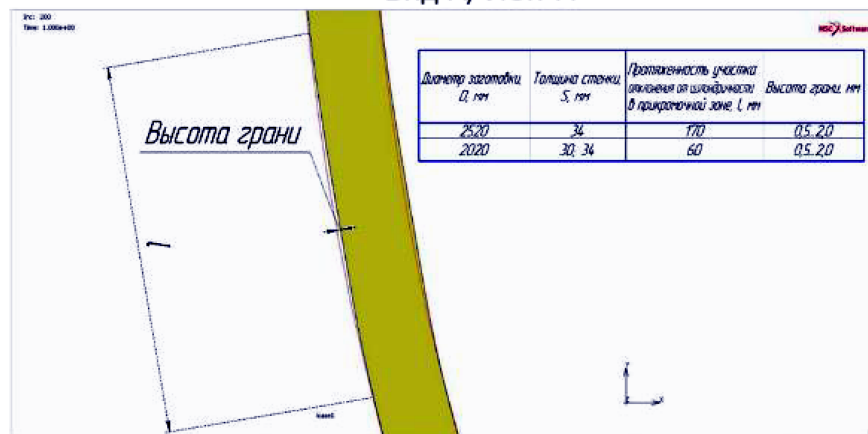
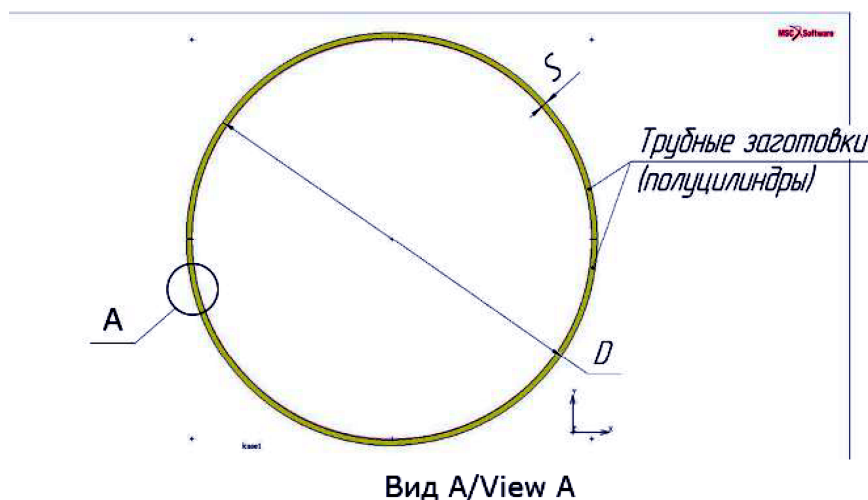


Рис. 3. Теоретические отклонения профиля заготовки
 Fig. 3. Theoretical deviations of the workpiece profile

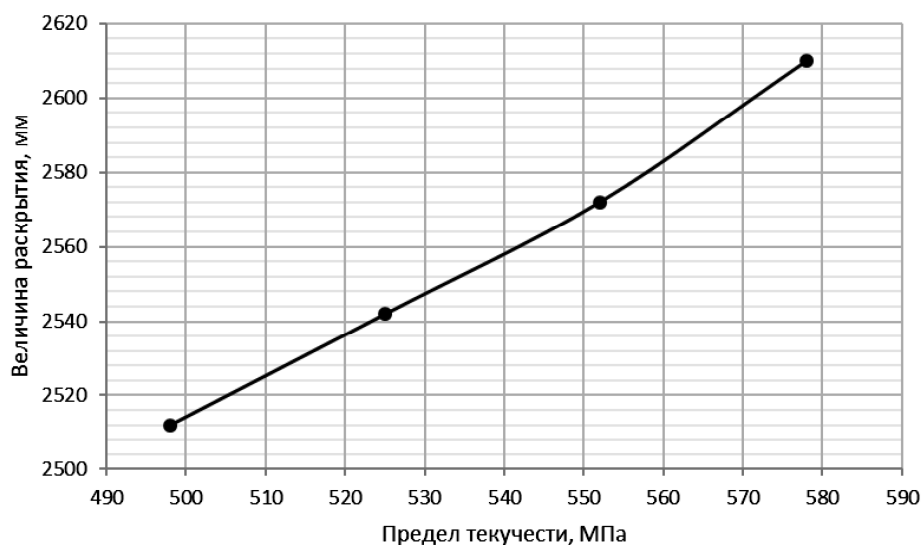


Рис. 4. График зависимости раскрытия заготовки от механических свойств
Fig. 4. Graph of the dependence of the workpiece opening on the mechanical properties

в частности, отсутствие механического экспандирования. Механические свойства листового проката получены после испытаний на растяжение (ГОСТ 1497). Марка стали – 10Г2ФБЮ. По результатам испытаний на растяжение разброс механических свойств составил 100 МПа.

На рис. 4 представлен график зависимости раскрытия заготовки от механических свойств. Из чего следует необходимость внесения корректировок в процессе шаговой формовки, так как величина отклонений, возникающих из-за механических колебаний листовой заготовки, приводит к существенным геометрическим отклонениям профиля на готовой трубе.

Для внесения своевременных и точных корректировок были проведены расчеты в конечно-элементной среде, позволяющие оценить величину необходимой корректировки процесса шаговой формовки для получения идеальной цилиндрической формы. Получено уравнение множественной регрессии от двух факторов (величины отклонения от заданных диагональных значений ΔL и номера шага N_i):

$$\Delta h(N_i; \Delta L) = -0,04751 + 0,0564N_i + 0,5432\Delta L.$$

Для минимизации отклонения профиля заготовки предложен подход к контролю геометрии трубных заготовок в процессе шаговой формовки с помощью камеры машинного зрения. Подобраны технические характеристики, позволявшие фиксировать необходимые габаритные размеры заготовки. Рассчитаны углы и фокусное расстояние, предложено место крепления камеры (рис. 5). На рис. 6

представлен общий вид с установленной камерой, с детекцией профиля и координат кромок.

Для подтверждения теоретических заключений было проведено опытное производство.

Опытное производство заготовок-полуцилиндров в ТЭЦ «Высота 239»

Обработка продольных кромок проводилась на кромкофрезерной установке. Размеры фаски устанавливались на основании разработанных технологических режимов (рис. 7).

В табл. 1 представлены результаты фактических замеров фаски после КФУ.

Согласно разработанным технологическим режимам был произведен процесс подгибки кромок и шаговая формовка. В табл. 2 указаны расчетные и фактические значения кромкогибочного пресса.

На рис. 8 показан контроль прикромочной зоны шаблоном R930 мм.

Фактические результаты пресса шаговой формовки и эталонные значения согласно разработанному шаблону указаны в табл. 3.

Фактическая геометрия подогнутой кромки, а также профиля трубной заготовки и ее диагональные значения соответствуют разработанным технологическим режимам и имеет высокую сходимость с конечно-элементной моделью.

По окончании процесса формовки полуцилиндра проводилось его изъятие с места работы инструментов при помощи захватов, которые крепили по торцам заготовки к манипуляторам (рис. 9). Манипуляторы выполняют обратное движение, вытягивая за собой заготовку.

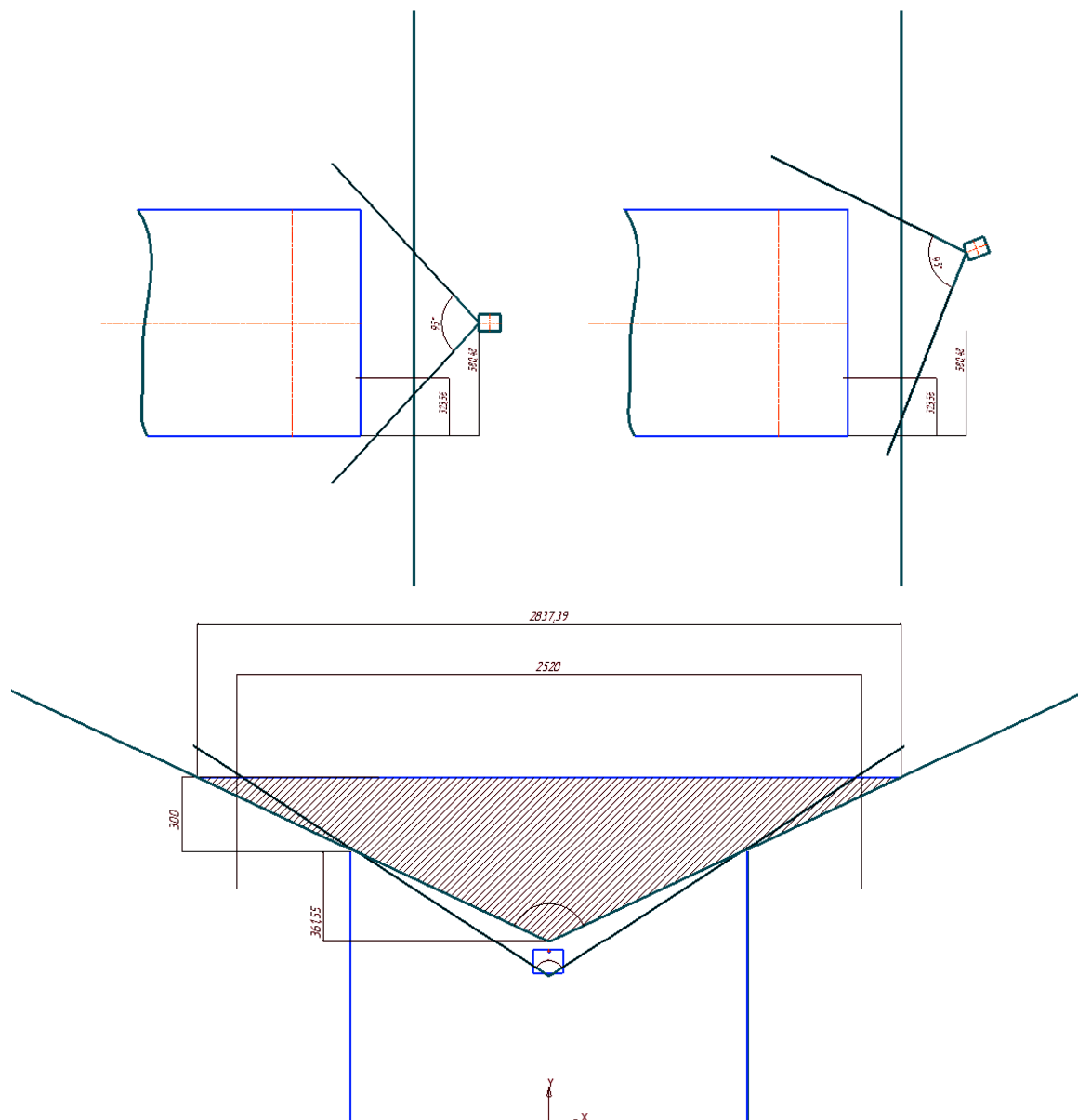


Рис. 5. Расчет необходимых горизонтальных и вертикальных углов обзора
Fig. 5. Calculation of the required horizontal and vertical viewing angles

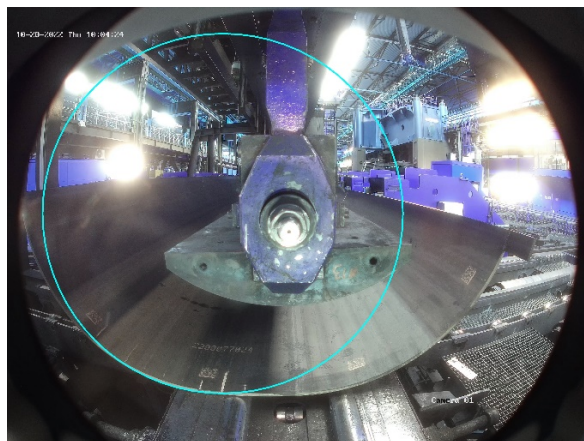
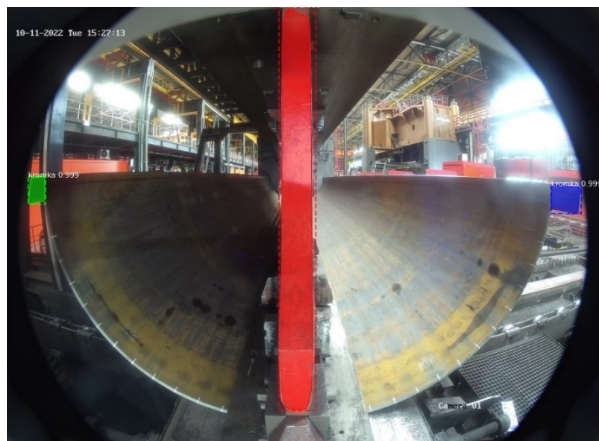


Рис. 6. Вид с камеры ML
Fig. 6. View from the ML camera

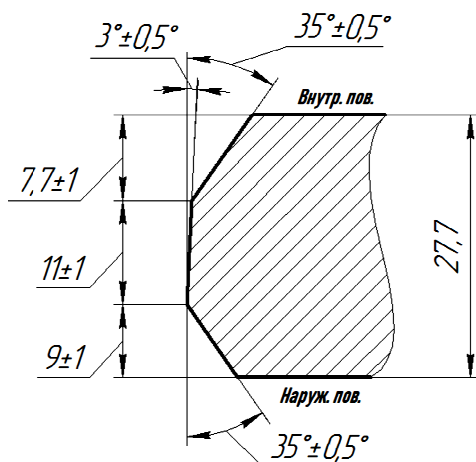


Рис. 7. Геометрические параметры фаски
Fig. 7. Geometric parameters of the chamfer

Фактические размеры фаски

Таблица 1

Table 1

Actual chamfer dimensions

№	Метр	Параметры фаски						Ширина листа, мм
		Левая сторона			Правая сторона			
		Внутр.	Притуп.	Наруж.	Внутр.	Притуп.	Наруж.	
1	1	8,7	10,0	10	6,7	12,0	8,0	3127
	6	7,2	10,8	9,7	6,8	11,9	9,0	
	12	7	12,0	8,5	8,3	10,4	9,0	
2	1	8,6	10,7	8,0	8,7	11,8	8,2	3127
	6	8,4	10,3	9,0	8	11,7	8	
	12	7,5	11,7	8,5	8,7	11,0	8	

Таблица 2

Расчетные и фактические размеры КГП

Table 2

Calculated and actual dimensions of the edge bending press

№	Расчетные		Фактические		
	Высота подгибки, мм	Радиус шаблона, мм	Высота подгибки, мм		
			1 м по формовке	6 м по формовке	12 м по формовке
1	53–57	930 ± 5	57	55	56
2			56	57	57



Рис. 8. Контроль геометрии подогнутой кромки
Fig. 8. Control of the geometry of the folded edge

Результаты шаговой формовки и эталонные значения

Table 3

Step molding results and reference values

№ шага	Расчетный размер, мм	Фактический размер, мм	
		1 заготовка	2 заготовка
1	1544	1550	1540
2	1537	1542	1533
4	1516	1522	1514
6	1487	1492	1487
8	1456	1463	1458
10	1424	1430	1427
12	1399	1397	1400
14	1387	1386	1389
29 (раскрытие)	1964,6	1979–1982	1980–1966



Рис. 9. Выдача заготовки рабочего пространства прессы
Fig. 9. Issuance of blanks from the press working space

Сборка заготовок-полуцилиндров

В связи с конструктивными ограничениями сборочно-сварочного стана в цехе «Высота 239» сборка труб полуцилиндров проводилась на экспериментальном оборудовании, которое легло в основу разработки действующей автоматической установки. Разработанная концептуальная схема по сборке полуцилиндров представлена на рис. 10.

Демонстрационная установка, на которой производилась сборка сформованных полуцилиндров, выполнена из жестко сваренной квадратной рамы, состоящей из двутаврового профиля, двух гидроцилиндров и металлической шайбы.

Принцип заключался в пошаговом перемещении рамы вдоль всей длины заготовки, уложенной на две неподвижные опоры по торцам. Обжатие заготовки проходило поочередно, в первую очередь выполнялась работа боковым гидроцилиндром, где сдавливалась

прикормочная зона до момента, пока положение кромок будет в допустимых значениях (превышение не более 10 % от толщины стенки), далее верхним гидроцилиндром заготовка сдавливалась до момента плотного смыкания стыка кромок. Каждый гидроцилиндр рассчитан на максимальное давление в 300 тонн. Интервал шага в зависимости от геометрии заготовки составлял от 0,5 до 1 м. Через каждый шаг в момент сжатой заготовки, с двух сторон с наружной стороны разделки накладывались прихватки размером от 50 до 70 мм в длину (рис. 11а). Прихватки выполнялись полуавтоматической сваркой в защитной среде газовой смеси (К18) с применением сварочной проволоки $\varnothing 1,2$ мм Св-08Г2С.

После окончания сборки по всей длине разделки кромок был выполнен сплошной технологический шов тем же способом, что и прихватки, только с увеличенной скоростью (рис. 11b).

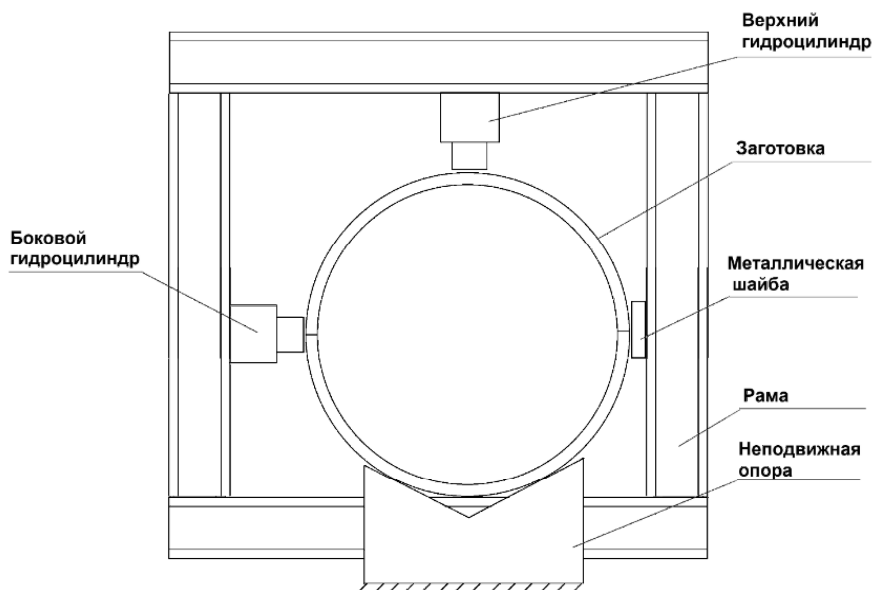


Рис. 10. Схема сборки трубных заготовок 2520 мм
Fig. 10. Scheme of assembly of pipe blanks 2520 mm



a)



b)

Рис. 11. Сборка трубной заготовки: а – технологические прихватки; б – технологический шов
Fig. 11. Assembly of a pipe blank: a – technological tacks; b – technological seam

Сварка наружных/внутренних швов и окончательная оценка геометрии

Из-за отсутствия технической возможности использования станов наружной сварки в ТЭСЦ «Высота 239» сварка наружного шва выполнялась сварочным трактором. Сварка внутреннего шва также производилась с по-

мощью сварочного трактора. Для выполнения сварки наружного и внутреннего шва использовался сварочный трактор АДФ-1000 производства АО ЭМЗ «Фирма СЭЛМА».

Согласно ГОСТ 33228 значение овальности для труб с наружным диаметром свыше 530,0 мм, определяемое по отношению разно-

Таблица 4

Геометрия трубы после сварочных операций

Table 4

Pipe geometry after welding operations

	1 по сварке	3	6	9	12 по сварке
Овал, мм	29	26	0	10	5
Характер овала*	в	в	–	г	г
Кривизна, мм	1	6	6	8	5
Смещение кромок, мм	0,3	–	0,3	–	0,3
Периметр, мм	7918	–	7917	–	7917

сти наибольшего и наименьшего фактических наружных диаметров в одном сечении к номинальному диаметру, не должно превышать 1,5 % от наружного диаметра. Для типоразмера $\varnothing 2520$ допуск составляет 37 мм.

Проведя анализ результатов измерений геометрии сваренной трубы (табл. 4) с требованиями ГОСТ 33228, видно, что все контролируемые геометрические параметры находятся в допуске. После процесса сварки трубы был проведен неразрушающий контроль с последующим отбором образцов для проведения механических испытаний.

Заключение

1. Проведено исследование возможности производства труб диаметром 2520 мм. С применением конечно-элементного анализа были получены имитационные модели, позволяющие оценивать геометрические показатели формуемой заготовки и разрабатывать технологические режимы. Сходимость результатов моделирования и фактических замеров на опытной работе составила 95 %.

2. Проведено исследование влияния неоднородности и колебаний механических свойств на величину раскрытия полуцилиндров. Величина колебаний в 100 МПа приводит

к существенным геометрическим отклонениям, выпадающим за предъявляемые требования.

3. Получено уравнение множественной регрессии, позволяющее своевременно и точно оценить величину необходимой корректировки процесса шаговой формовки, с целью получения идеальной цилиндрической формы.

4. Проведена опытная работа по производству труб $\varnothing 2520 \times 28$ мм, подтверждающая техническую возможность получения трубы с геометрическими показателями, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 33228.

5. Разработано новые технические решения – применение камеры ML, которое позволяет оценивать геометрические параметры трубной заготовки в процессе производства. В совокупности работы камеры, предиктивной аналитики и нейронных сетей происходит корректировка каждого шага формовки до приближения к идеальной/необходимой окружности. На площадке АО «ЧТПЗ» в цехе «Высота 239» была проведена опытная работа по формовке трубных заготовок диаметром 2520 мм с толщиной стенки 28 мм в количестве 60 шт. По результатам работы общая производительность участка увеличилась в 2 раза, количество отклонений по цилиндричности и овальности снизилось на 30 %.

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Самусев С.В., Люскин А.В., Больдт В.В. Анализ способов формовки заготовки для производства труб большого диаметра // Сталь. 2009. № 12. С. 46–49.
4. Ильичев В.Г., Залавин Я.Е. Экспериментальное определение сил трения в очаге деформации при вальцевой формовке труб большого диаметра // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2015. Т. 15, № 3. С. 127–132.
5. 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

6. 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
7. 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.
8. 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.
9. Анализ технологий трехмерного моделирования и создания 3D объектов для различных интеллектуальных систем / Д.А. Чувилов, Н.А. Казакова, О.О. Варламов, А.М. Хадиев // *Автоматизация и управление в технических системах*. 2014. № 2. С. 84–97. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-9
10. 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
11. 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.
12. Коликов А.П., Звонарев Д.Ю., Осадчий В.Я. Математическая модель формовки листовой заготовки при производстве сварных труб большого диаметра // *Пластическая деформация металлов: сб. науч. тр.: в 2 т. Днепропетровск*, 2014. Т. 1. С. 118–122.
13. Palumbo G., Tricarico L. Effect of forming and calibration operations on the final shape of large diameter welded tubes // *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. Vol. 164–165. P. 1089–1098.
14. Дубинский Ф.С., Соседкова М.А. Математическое планирование эксперимента в прокатке: конспект лекций. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 25 с.
15. Волкова П.А., Шипунов А.Б. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах. М.: Экспресс, 2008. 60 с.

References

1. Osadchiy V.Ya., Vavilin A.S., Zimovets V.G., Kolikov A.P. *Tekhnologiya i oborudovanie trubnogo proizvodstva: ucheb. dlya vuzov* [Technology and equipment for pipe production. Textbook]. Moscow: Intermet Inzhiniring; 2001. 608 p. (In Russ.)
2. Dericks V., Genzer B. [New technologies for economical and flexible production of large-diameter pipes]. In: *Trudy XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Truby 2005"* [Proceedings of the XIII International scientific-practical conf. "Pipes 2005"]. Chelyabinsk: OJSC RosNITI; 2005. Part 1. P. 105–108. (In Russ.)
3. Samusev S.V., Lyuskin A.V., Boldt V.V. [Analysis of methods for forming blanks for the production of large-diameter pipes]. *Steel*. 2009. No. 12. P. 46–49. (In Russ.)
4. Il'ichev V.G., Zalavin Ya.E. Experimental Determination of the Friction Forces in the Deformation Zone at Roller Forming of Large-Diameter Pipes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2015;15(3):127–132. (In Russ.)
5. 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
6. 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
7. 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
8. Samusev S.V., Romantsov A.I., Zhigunov K.L. et al. [Development of technological regimes for

the pipe blank forming section in the TESA 1420 line of Chelyabinsk Pipe Plant OJSC]. *Rolling*. 2011;(10):20–28. (In Russ.)

9. Chuvikov D.A., Kazakova N.Ya.A., Varlamov O.O., Khadiev A.M. 3D modeling and 3D objects creation technology analysis for various intelligent systems. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh*. 2014;2(10):84–97. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-9

10. 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

11. Galkin V.V., Cheburkov A.S., Pachurin G.V. Assessment of the stress-strain state of metal pipe blanks manufactured by step-by-step molding using the method of mathematical modeling. *Modern problems of science and education*. 2013;(2):1–9. (In Russ.)

12. Kolikov A.P., Zvonarev D.Yu., Osadchiy V.Ya. [Mathematical model of forming sheet blanks in the production of large-diameter welded pipes]. In: *Plasticheskaya deformatsiya metallov: sb. nauch. tr.: v 2 t.* [Plastic deformation of metals: collection of scientific works: in 2 volumes]. Dnepropetrovsk; 2014. Vol. 1. P. 118–122. (In Russ.)

13. Palumbo G., Tricarico L. Effect of forming and calibration operations on the final shape of large diameter welded tubes. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005;164–165:1089–1098.

14. Dubinskiy F.S., Sosedkova M.A. *Matematicheskoe planirovanie eksperimenta v prokatke: konspekt lektsiy* [Mathematical planning of an experiment in rolling: lecture notes]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 2007. 25 p. (In Russ.)

15. 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.)

Информация об авторах

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

Шандер Сергей Викторович, руководитель центра сварочных технологий, ПАО «ТМК», Челябинск, Россия; sergey.shander@tmk-group.com.

Гизатуллин Антон Бильгуварович, заместитель директора по научной работе, ПАО «ТМК», Челябинск, Россия; anton.gizatullin@tmk-group.com.

Шакиров Руслан Динарович, начальник отдела, ПАО «ТМК», Челябинск, Россия; ruslan.shakirov@tmk-group.com.

Котлов Александр Олегович, ведущий инженер, ПАО «ТМК», Челябинск, Россия; aleksandr.kotlov@tmk-group.com.

Information about the authors

German S. Batalov, Head of Sector, LLC “Research Center Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia; german.batalov@tmk-group.com.

Sergey V. Shander, Head of the Center for Welding Technologies, PJSC “Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia; sergey.shander@tmk-group.com.

Anton B. Gizatullin, Deputy Director for Research, PJSC “Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia; anton.gizatullin@tmk-group.com.

Ruslan D. Shakirov, Head of Department, PJSC “Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia; ruslan.shakirov@tmk-group.com.

Aleksandr O. Kotlov, Lead Engineer, PJSC “Pipe Metallurgical Company”, Chelyabinsk, Russia; aleksandr.kotlov@tmk-group.com.

Статья поступила в редакцию 02.04.2024

The article was submitted 02.04.2024