

# Влияние диаметра стальной трубной заготовки на геометрию опалубочного профиля для монолитного строительства

Громов Д.В., Радионова Л.В., Свистун А.С.

Московский политехнический университет  
г. Москва, Российская Федерация  
[gromov111999@gmail.com](mailto:gromov111999@gmail.com), [radionovalv@rambler.ru](mailto:radionovalv@rambler.ru),  
[svystaryk@mail.ru](mailto:svystaryk@mail.ru)

Ердаков И.Н., Зараменских С.Е., Лисовский Р.А.

Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)  
г. Челябинск, Российская Федерация  
[erdakovin@susu.ru](mailto:erdakovin@susu.ru), [s.zaramenskih@yandex.ru](mailto:s.zaramenskih@yandex.ru),  
[lisovskiira@susu.ru](mailto:lisovskiira@susu.ru)

**Аннотация.** В статье представлена компьютерная модель в программе QForm процесса валковой формовки стального опалубочного профиля для монолитного строительства. Исследование процесса формовки профиля из стальной электросварной прямошовной трубы Ø120 мм с толщиной стенки 2,20 мм из стали марки 09Г2С показало возможность получения профиля с повышенными механическими свойствами и пониженной металлоемкостью на имеющемся оборудовании. С помощью компьютерного моделирования проведен анализ влияния изменения диаметра трубной заготовки в пределах допуска ГОСТ 10704-91 на геометрию готового опалубочного профиля. Результаты компьютерного моделирования позволили установить, что изменение диаметра трубной заготовки в диапазоне 119-122 мм наибольшее влияние оказывает на геометрию таких участков профиля как «опорная площадка» и «замковая впадина». При использовании трубы-заготовки необходимо иметь возможность корректировать зазор между вертикальными валками с повышенной точностью, так как эти клетки вносят важный вклад в формировании геометрии ответственных участков профиля. Такая корректировка положительно отразится на качестве гнutoго профиля по геометрии.

**Ключевые слова:** сварная труба, QForm, компьютерное моделирование, валковая формовка, профиль, опалубка, монолитное строительство.

## ВВЕДЕНИЕ

Монолитное строительство на сегодняшний день является ведущей технологией возведения зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения [1]. По монолитной технологии устраивают практически все несущие элементы зданий, начиная от конструкций фундамента, и заканчивая возведением железобетонного каркаса. Технологию монолитного строительства всё чаще применяют не только при возведении промышленных зданий и жилых многоквартирных домов, но и в частном строительстве [2]. Эта технология позволяет строить дома с высокопрочными стенами и перекрытиями, воплощать в жизнь любые идеи проектировщика, возводить сложные геометрические и закруглённые элементы зданий [3, 4].

При строительстве монолитных зданий чаще всего используется съёмная многоразовая опалубка (рис. 1) [5]. Наибольшее распространение получила стальная опалубка [6, 7], которая является наиболее экономически обоснованной в использовании. Стальная опалубка обладает наиболее высокими прочностными характеристиками, что

позволяет применять один и тот же комплект более 500 раз. Для ее изготовления используется оцинкованный [8] или покрытый порошковой краской стальной прокат толщиной более 0,7 мм [9]. Основным недостатком стальной опалубки ее значительный вес, по сравнению с алюминиевой.



Рис. 1. Опалубка при монолитном строительстве

Основные элементы опалубки включают в себя несущую раму, поперечные ребра жесткости и плиту опалубки. В основе несущей рамы конструкции лежит замкнутый полый профиль (рис. 2), от его качества и прочностных свойств зависит в конечном итоге надёжность всей строительной конструкции [10, 11]. Профиль изготавливается валковой формовкой из стальной полосы или сварной трубы [12, 13].

Компании, которые занимаются производством гнutoго профиля (рис.3) в качестве заготовки используют трубы стальные электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91 Ø120 мм с толщиной стенки от 3,0 до 2,5 мм из стали марки Ст3 [11, 14]. В настоящее время наблюдается переход от применения стали марки Ст3 или 10пс толщиной 3,00 мм к стали с повышенными прочностными свойствами, а именно 09Г2С, но меньшей толщиной – 2,20 мм [11]. Это позволяет уменьшить металлоемкость опалубочного профиля и сократить издержки при транспортировке готовых комплектов опалубки к месту строительства. Прочностной анализ такого профиля, проведенный нами в работе [11], показал техническую обоснованность принятых экономических решений.

Для опалубочного профиля важным параметром является геометрия, которая напрямую зависит от способа его получения, технологических параметров процесса формовки и точности геометрии трубы, поступившей в производство. Согласно требованиям ГОСТ 10704-91 допуск на трубы  $\varnothing 120$  мм составляет  $\pm 0,8\%$ , т.е. диаметр трубной заготовки может быть в диапазоне от 119 до 122 мм. Поэтому в зависимости от реального диаметра сварной трубы необходимо корректировать калибровку валков или ужесточать требования по допускам к заготовке.

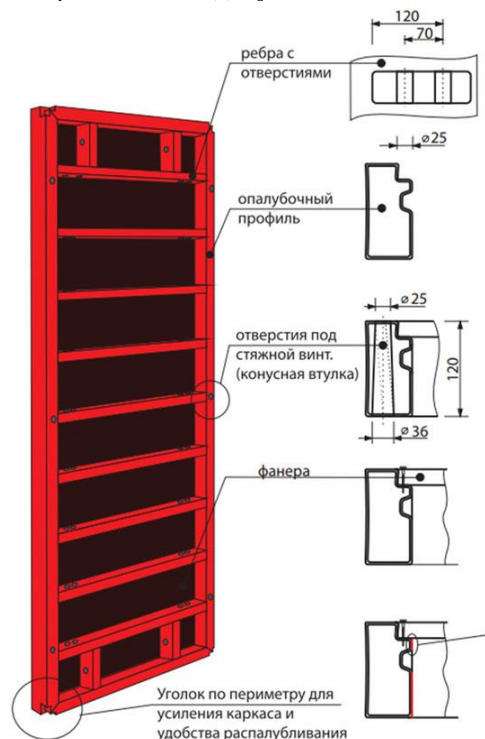


Рис. 2. Опалубочный щит

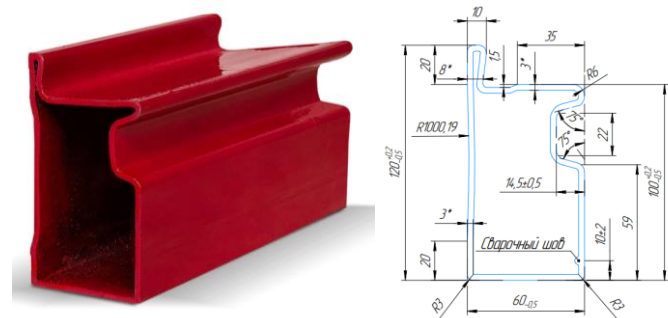


Рис. 3. Гнутый опалубочный профиль

Целью настоящей работы является оценка с помощью компьютерного моделирования в программе QForm влияния фактического диаметра трубной заготовки на геометрию опалубочного профиля, полученного валковой формовкой.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ ОПАЛУБОЧНОГО ПРОФИЛЯ ИЗ КРУГЛОЙ СВАРНОЙ ТРУБЫ 120x2,20

Первым этапом в компьютерном моделировании является создание твердотельной модели заготовки и формирующего инструмента в CAD программе Компас-3D v19. При создании твердотельных моделей формирующих ин-

струментов использовались калибровки реального оборудования действующего предприятия. Профилирование трубы осуществляется на автоматизированной линии изготовления профилей, включающей в себя рольганг подающий, гибочно-прокатный станок, пилу отрезную и приемный стол со сбрасывателем [15]. Формовочная линия состоит из 24 клетей: 20 – горизонтальных и 4 вертикальных. При компьютерном моделировании в САЕ системе QForm версии 9.0.10 были заданы параметры, приведенные ниже.

#### Заготовка:

- марка стали – 09Г2С;
- температура – 20°C;
- коэффициент трения заготовки при самопересечении – 0,1;
- длина заготовки – 400 мм;
- внешний/внутренний диаметр заготовки – 120/115,6 мм;
- длина деформируемой области – 300 мм;
- длина зоны мелкоэлементной сетки – 25 мм.

#### Инструмент:

- марка стали – 9ХВГ;
- температура – 20°C;
- коэффициент трения по закону кулона – 0,1;
- скорость вращения – 10 об/мин.

#### Граничные условия и параметры расчета:

- толкатель: скорость – 0,1 м/с;
- расчет с учетом упругопластических деформаций;
- переразбитие заготовки каждые 100 шагов;
- постоянный шаг по времени (деформационный) – 0,1 мс.

Сетка в инструменте разбивается на крупные и мелкие элементы, мелкоэлементная сетка с длиной ребра тетраэдра 0,894 мм располагается на поверхности.

Моделирование процесса с заготовкой, находящейся во всех клетях одновременно, то есть длиной от 8 м по предварительным расчетам составило бы около 500 часов. При таком варианте исключается возможность своевременной отладки модели в случае появления программных ошибок. Поэтому модель была разбита на 24 операции, т.е. по одной операции на формирующую клеть. Машинное время при таком варианте моделирования сокращается до 94 часов на группу клетей.

На рис.4 представлены сечения заготовки по проходам в формирующих валках, полученные при моделировании. Проверка адекватности разработанной модели, путем сравнения областей износа и зон (пятен) контакта, показала ее высокую адекватность [11].

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ГЕОМЕТРИЮ ПРОФИЛЯ

Используя разработанную компьютерную модель, проведем моделирование формоизменения в процессе формовки для трубной заготовки  $\varnothing 119, 120, 121$  и  $122$  мм. Результаты моделирования приведены на рис. 5. Анализируя геометрию сечений профиля, можно выделить два участка на которые изменения диаметра заготовки оказывает наибольшее влияние – это опорная площадка (рис.5а-в) и замковая впадина (рис. 5, г-е). Это обусловлено не только диаметром заготовки, но и неизменностью калибровок. В связи с этим формирующийся изгиб опорной площадки смещается сильнее (рис.5а), угол изгиба опорной площадки увеличивается. Разница координат  $\varnothing 119$  и  $\varnothing 122$  по горизонтали 0,9 мм, а по вертикали 5 мм, в сумме давая смещение 5,1 мм. Это скажется на дальнейшей гео-

метрии опорной площадки при формировании отгиба. Такая же ситуация прослеживается на рис. 5, б, так как отгиб еще не сформирован. Итоговая геометрия опорной площадки, полученной при помощи компьютерного моделирования представлена на рис. 5, в. Разница координат 2,2 мм по горизонтали и 6,5 мм по вертикали, суммарное смещение 7,1 мм. Это говорит о том, что длина металла используемого в формировании отгиба не изменяется, или изменяется несущественно при использовании труб различных диаметров.

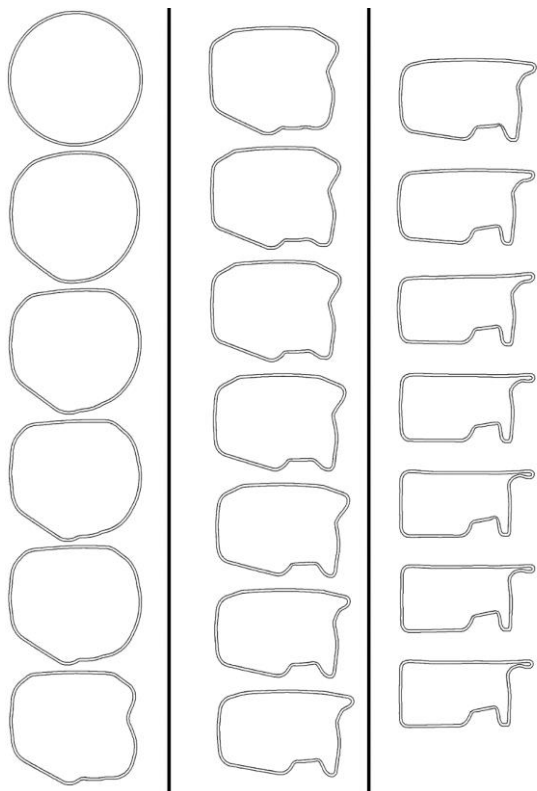


Рис. 4. Схема формоизменения заготовки при валковой формовке

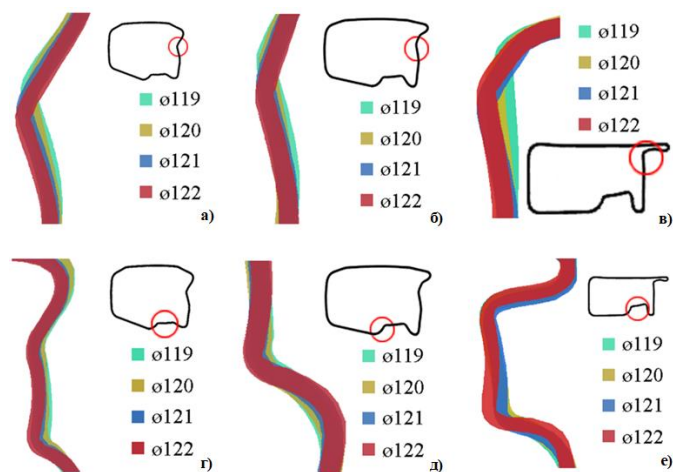


Рис. 5. Геометрия участков профиля при использовании сварной трубы разных диаметров: опорная площадка в 9 клетки (а), в 12 клетки (б), в 19 клетки (в); замковая впадина в 9 клетки (г), в 12 клетки (д), в 19 клетки (е)

Анализируя геометрию заготовки по сечениям в области замковой впадины рис. 5, г-е можно сказать, что из-за увеличения диаметра заготовки длина тыльной стойки тоже увеличивается и изгибается под углом  $87^\circ$ , при центрировании на угле, образованном тыльной стойкой и нижней полкой для изделия, изготовленного из заготовки  $\varnothing 122$ . Анализируя рис. 5, г можно сказать, что правая часть замковой впадины формируется правильной высоты, профиль в этом участке является более устойчивым так как формирующий инструмент находится близко и образует один угол. Левая часть образуется путем постепенной формовки инструментом треугольной формы с радиусом в высоту (в сечении). Разница высот 2,6 мм.

Тенденция разницы деформации сохраняется в 12 клетки рис. 5, д. Итоговая разница высот после 19-ой клетки рис. 5, е составляет 4,2 мм, что обеспечивает выход геометрии замковой впадины в допустимый предел, однако, так как геометрия инструмента была не подобрана под большой диаметр трубы, профиль получаемый из заготовки  $\varnothing 122$  мм вогнут внутрь, особенно это видно оценивая тыльную стойку (рис. 6). Анализируя контакт формирующего инструмента с заготовкой, можно сказать, что с увеличением диаметра трубы-заготовки общая площадь контакта увеличивалась в первых клетях и сокращалась в последних по сравнению с заготовкой меньшего диаметра. Используя такой способ можно визуальным образом увидеть, как исходный диаметр заготовки влияет не только на изменение, но и на сам процесс профилирования. Для оценки была выбрана клетка №3 (рис. 7).

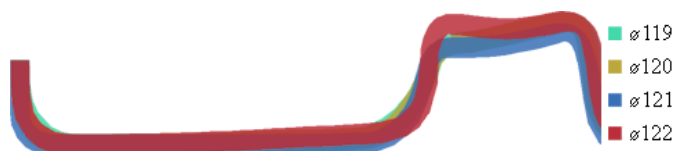


Рис. 6. Геометрия тыльной стойки и замковой впадины опалубочного профиля

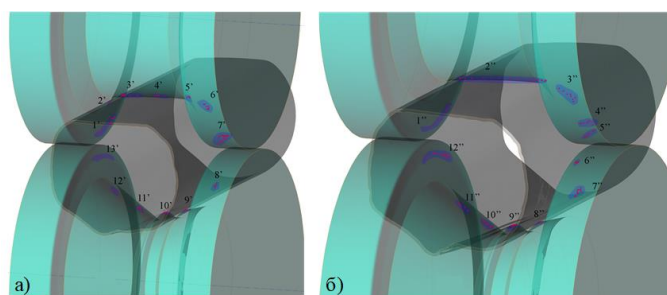


Рис. 7. Зоны контакта инструмента и заготовки в клетке №3: а)  $\varnothing 119$  мм; б)  $\varnothing 122$  мм

Проанализируем пятна контакта инструмента и заготовки в клетке №3 при формировании заготовок  $\varnothing 119$  и  $122$  мм.

Зона 1' (рис. 7, а) имеет меньше узлов контакта и размер, чем зона 1'' (рис. 7, б) и имеет одинаковое расположение. Зона формирующая угол между нижней полкой и торцевой стойкой 2' заполняется только при  $\varnothing 119$  мм. Зоны 3' 4' 5' отделены друг от друга, имеют

четкие границы. Аналогично расположенная область 2'' протягивается вдоль торцевой стойки и имеет высокую концентрацию узлов контакта на краях, это связано с тем, что внешний диаметр больше и металл еще не выгнуло внутрь. Зоны 6' и 3'' расположены в одной области, но различны по размеру соответствуют увеличенному диаметру, аналогичные зоны 8'; 9'; 10'; 11'; 12'; 13' и соответствующие им зоны 7''; 8''; 9''; 10''; 11''; 12''. Еще одни зоны интереса 4'' и 5'', четко разделенные в отличие от 7'. Зона 6'' расположена симметрично 12'', однако мала и не выполняет функции первичного контакта и затягивания заготовки в формующую клеть, учитывая это и фактор овальности с отклонением наружного диаметра торцов допустимой по ГОСТ 10704-91, можно сказать о высокой вероятности износа этой зоны наравне с остальными, что можно оценить на рис.8. Зона износа, отмеченная красным, совпадает с 6'' только при  $\varnothing 122$  мм. Остальные зоны износа в свою очередь совпадают с зонами локализации узлов контакта.



Рис. 8. Фото формоизменения профиля в клетке №3

Также для оценки влияния диаметра заготовки на зоны контакта была выбрана клетка №15 (рис. 9).

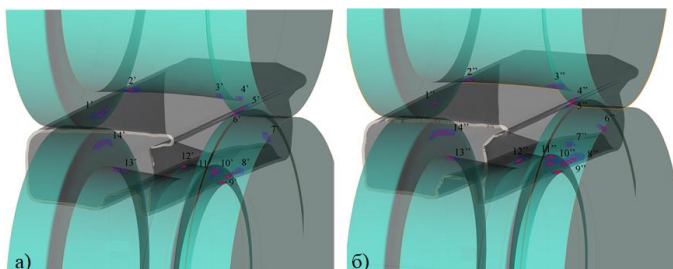


Рис. 9. Зоны контакта инструмента и заготовки в клетке №15: а)  $\varnothing 119$  мм; б)  $\varnothing 122$  мм

Оценивая зоны контакта в клетке №15 с разными диаметрами заготовок, можно сказать, что совпадающие зоны (рис. 9, а) 1'; 2'; 5'-14' имеют свои аналоги у зон (рис. 9, б) 1''; 2''; 4''-6''; 8''-14''. Отличие этих областей в их длине и количестве узлов контакта. Зоны 3' и 4' располагаются аналогично зоне 3'', но четко разделены и располагаются шире. Зона 7'' располагающаяся

на опорной площадке появляется из-за увеличения угла изгиба профиля образованного при формировании паза опорной площадки и вдавливается в эту зону. Оценивая результаты моделирования и оценки зон контакта, можно сказать, что основные зоны контакта сохраняются при небольшом изменении диаметра и образуются новые. Износ соответствующих зон на формующих валках можно оценить на рис. 10.

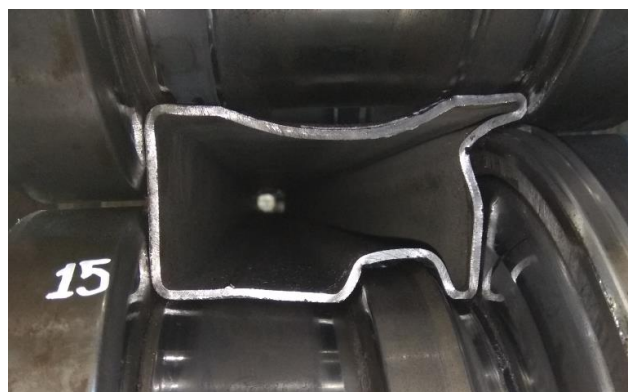


Рис. 10. Фото формоизменения профиля в клетке №15

Оценивая геометрию профиля можно увидеть отличия в формоизменении вертикальной торцевой стойки на рис. 9 и рис. 10, использование трубы большего диаметра может приводить к такого рода дефекту геометрии. Это связано с изменением зазора вертикальных клетей.

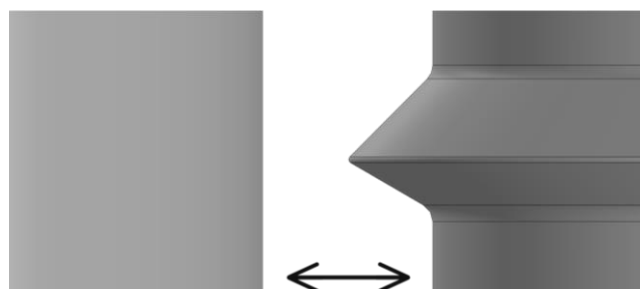


Рис. 11. Схема изменения зазора вертикальной клетки

Следовательно, получая трубу-заготовку диаметром более 119 мм, для исключения перегиба зазор между валками необходимо увеличивать зазор между вертикальными валками (рис.11). Это позволит формирующейся опорной площадке стремиться к правильной геометрии (рис.5в) –  $\varnothing 119$  и  $\varnothing 120$  мм, а вертикальной торцевой стойки в свою очередь изгибаться внутрь.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью компьютерного моделирования в программе QForm проведен анализ влияния изменения диаметра трубной заготовки в пределах допуска ГОСТ 10704-91 на геометрию готового опалубочного профиля, применяемого при изготовлении многоразовых щитов для монолитного строительства. Результаты компьютерного моделирования позволили установить, что изменение диаметра трубной заготовки в диапазоне 119-122 мм наибольшее влияние оказывает на геометрию таких

участков профиля как «опорная площадка» и «замковая впадина». При использовании трубы-заготовки необходимо иметь возможность корректировать зазор между вертикальными валками с повышенной точностью, так как эти клетки вносят важный вклад в формировании геометрии ответственных участков профиля. Такая корректировка положительно отразится на качестве гнутого профиля по геометрии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шембаков В.А. Технология сборно-монолитного домостроения СМК в массовом строительстве России и стран СНГ // Жилищное строительство. – 2013. – № 3. – С. 26-29.
2. Плотников Н.М. Совершенствование технологии монолитного строительства / Н.М. Плотников, В.Б. Стойчев, А.А. Яворский // Приволжский научный журнал. – 2007. – № 2. – С. 8-16.
3. Погодин Д.А. Совершенствование современных технологий и возведение многоэтажных жилых зданий за счет оптимизации опалубочных работ / Д.А. Погодин, Н.Н. Спиридонов, А.А. Халидов // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6. – № 2. – С. 7. DOI 10.15862/07SATS219.
4. Бидов Т.Х. Организационно-технологические решения, влияющие на результативность возведения монолитных конструкций при организации строительства жилых зданий и сооружений / Т.Х. Бидов, М.А. Котляров, Г.Г. Ахвердашвили [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 6. – С. 175-182.
5. Абрамян С.Г. Комплексная разработка технологии возведения монолитных конструкций высотных и уникальных зданий / С.Г. Абрамян, О.В. Бурлаченко – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 148 с.
6. Евдокимов Н.И. Опалубка для монолитного строительства: состояние, перспективы развития и проблемы / Н.И. Евдокимов, А.П. Степанов, О.Г. Пятакова [и др.] // Строительные материалы. – 2005. – № 6. – С. 50-53.
7. Абрамян С.Г. Современные опалубочные системы [Электронное издание]: учебное пособие / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов. – Волгоград: ВолГАСУ, 2015. – Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> (дата обращения 01.09.2022).
8. Радионова Л. В. Преимущества и недостатки способа горячего оцинкования стальной полосы. Проблемы цинкования / Л.В. Радионова, Ю.М. Субботина // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2013. – № 2. – С. 3-9.
9. Абрамян С.Г. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов, В.С. Халилов, Д.А. Уманцев // Вестник ВолГАСУ. Серия «Архитектура и строительство». – 2014 - № 36 (55), – С. 231-240.
10. Туснин А.Р. Сталежелезобетонные перекрытия с использованием гнутых стальных профилей / А.Р. Туснин, Т.И. Ахрамочкина // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 5. – С. 10-14. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.05.10-14.
11. Громов Д.В. Компьютерное моделирование валковой формовки опалубочного профиля для монолитного строительства / Д.В. Громов, А.С. Свистун, Л.В. Радионова [и др.] // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т. 9. – № 2. – С. 45-52. – DOI 10.24892/RIJE/20220208.
12. Громов Д.В. Компьютерное моделирование в программе QForm валковой формовки профиля из круглой сварной трубы / Громов Д.В., Ермаков И.Н., Радионова Л.В., Свистун А.С. // В сборнике: Пром-Инжиниринг. труды VII всероссийской научно-технической конференции. Челябинск, 2021. – С. 176-179.
13. Gromov D. Analysis and QFORM modeling of the roll forming process for formwork sections / D. Gromov, I. Erdakov, L. Radionova // Magnitogorsk Rolling Practice 2022: Proceedings of the VI International Youth Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, 31 мая – 04 июня 2022 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. – Р. 58-60.
14. Громов Д.В. Компьютерное моделирование опалубочного профиля, получаемого валковой формовкой из сварной трубы / Д.В. Громов, Л.В. Радионова // Промышленная революция 4.0: взгляд молодежи: сборник материалов Межрегиональной научной сессии молодых исследователей, Тула, 01-03 декабря 2021 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2021. – С. 122-123.
15. <http://ulniat.ru/production/3/> (дата обращения 12.05.2022)

# Influence of Steel Pipe Billet Diameter on Formwork Profile Geometry for Monolithic Construction

Gromov D.V., Radionova L.V., Svistun A.S.

Moscow Polytechnic University  
Moscow, Russian Federation

[gromov111999@gmail.com](mailto:gromov111999@gmail.com), [radionovalv@rambler.ru](mailto:radionovalv@rambler.ru),  
[svystaryk@mail.ru](mailto:svystaryk@mail.ru)

Erdakov I.N., Zaramenskikh S.E., Lisovskiy R.A.

South Ural State University (national research university)  
Chelyabinsk, Russian Federation

[erdakovin@susu.ru](mailto:erdakovin@susu.ru), [s.zaramenskikh@yandex.ru](mailto:s.zaramenskikh@yandex.ru),  
[lisovskiira@susu.ru](mailto:lisovskiira@susu.ru)

**Abstract.** The article presents a simulation in the QForm program of the roll forming process of a steel shuttering profile for monolithic construction. The study of the process of forming a profile from a steel electric-welded longitudinal pipe Ø120 mm with a wall thickness of 2.20 mm from steel grade 09G2S showed the possibility of obtaining a profile with increased mechanical properties and reduced metal consumption using existing equipment. Using computer simulation, an analysis was made of the effect of changing the diameter of a pipe billet within the tolerance of GOST 10704-91 on the geometry of the finished formwork profile. The results of computer simulation made it possible to establish that a change in the diameter of a pipe billet in the range of 119-122 mm has the greatest effect on the geometry of

such sections of the profile as "support platform" and "castle cavity". When using a billet pipe, it is necessary to be able to correct the gap between the vertical rolls with increased accuracy, since these stands make an important contribution to the formation of the geometry of the critical sections of the profile. Such an adjustment will positively affect the quality of the bent profile in terms of geometry.

**Keywords:** welded pipe, QForm, simulation, roll forming, profile, formwork, monolithic construction.

## Библиографическое описание статьи

Громов Д.В. Влияние диаметра стальной трубной заготовки на геометрию опалубочного профиля для монолитного строительства / Д.В. Громов, Л.В. Радинова, А.С. Свистун, И.Н. Ердиков, С.Е. Зараменских, Р.А. Лисовский // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т.9, №3. – С. 3-8. DOI: 10.24892/RIJIE/20220301

## Reference to article

Gromov D.V., Radionova L.V., Svistun A.S., Erdakov I.N., Zaramenskikh S.E., Lisovskiy R.A. Influence of steel pipe billet diameter on formwork profile geometry for monolithic construction, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2022, vol.9, no.3, pp. 3-8. DOI: 10.24892/RIJIE/20220301