

УДК 621.774.2.001.57

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ФОРМОВКИ СВАРНЫХ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ НА УЧАСТКЕ ОТКРЫТЫХ ВАЛКОВЫХ КАЛИБРОВ ТЭСА

*Самусев С.В., д.т.н., профессор кафедры обработки металлов
давлением (sergei18.58@mail.ru)*

Фадеев В.А., инженер (fdv_viktor@mail.ru)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Представлены результаты физического и теоретического моделирования процесса непрерывной формовки. Эксперименты по непрерывной формовке полосовых заготовок проводили на трубоэлектросварочном стане 10-50 для трубы диам. 50 мм со стенкой 1 мм. Процесс формоизменения трубных заготовок осуществляли на участке формовочных горизонтальных и вертикальных клетей с оценкой геометрических параметров. Калибровка валкового инструмента – однорадиусная. Определены и замерены энергосиловые параметры процесса, которые влияют на качество геометрии заготовки. Анализ геометрических параметров полученной заготовки выявил дефекты типа гофр на правой кромке заготовки между второй эджерной и третьей формовочной клетями. Аналогичный дефект выявлен на левой кромке заготовки на межклетевом расстоянии третьей формовочной и эджерной клетями. Для устранения дефектов на формовочном участке перестраивали горизонтальные клетки так, чтобы усилия по приводным клетям были идентичны. Последовательно были определены энергосиловые параметры процесса: тянущие усилия приводных клетей, значения сопротивлений перемещению полосы по приводным клетям и вертикальные усилия формовки. Расчеты по определению энергосиловых параметров выполняли с учетом основных технических параметров по двум методикам. Первая методика учитывает геометрические параметры сформованной заготовки и параметры очага сворачивания с учетом зоны внеконтактной деформации. Вторая методика базируется на учете контактного взаимодействия заготовки и профилированного инструмента по сечениям деформации. Расхождение расчетных и экспериментальных данных составило 8 – 12 %. После корректировки технических параметров процесса формовки и перенастройки валковых калибров была сформована бездефектная трубная заготовка. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных траекторий кромок по клетям по высоте и ширине показал расхождения результатов в пределах 6 – 9 %. При исследовании геометрических параметров очага деформации учитывали контактную и внеконтактную зоны очага сворачивания и участок распушинивания. Рассчитаны параметры формоизменения трубной заготовки в монотонном и валковом очагах формовки. Анализ проведенных результатов показал, что формоизменение заготовки соответствует принятым положениям о характере изменения геометрии заготовки в валковых приводных калибрах.

Ключевые слова: непрерывная формовка, ТЭСА, формовочный стан, электросварная труба, валковая формовка, моделирование, валковый инструмент.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-7-531-538

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время производство сварных труб методом непрерывной валковой формовки в линиях непрерывных трубоэлектросварочных агрегатов (ТЭСА) реализовано на металлургических заводах, на которые приходится основной объем производства сварных труб диам. от 50 до 530 мм. Доступность и увеличение количества линий по изготовлению сварных труб малого и среднего диаметров объясняется технико-экономическими преимуществами этого метода. На малых предприятиях изготавливают сварные трубы в небольших объемах.

В НИТУ «МИСиС» уже почти 50 лет на кафедре ОМД ведутся исследования процессов производства прямошовных сварных труб, к которым относится и непрерывная формовка в линиях ТЭСА [1, 2]. Большое количество модернизаций и реконструкций выполнено

в трубоэлектросварочных цехах различных заводов. Разработаны и практически опробованы новые схемы и способы производства сварных труб малого и среднего диаметров.

Непрерывная валковая формовка является основным способом производства электросварных прямошовных труб малого и среднего диаметров. Вопросами исследования непрерывной формовки занимались такие ученые, как Я.Л. Ваткин, Б.Д. Жуковский, Ю.М. Матвеев, Г.Я. Гун, В.А. Рымов. В их исследованиях изложены теоретические и экспериментальные методики изучения геометрии полосы по длине очага формовки, определения напряженно-деформированного состояния полосы, энергосиловых и кинематических параметров процесса непрерывной валковой формовки.

В работах [1 – 3] представлены материалы, в которых характеризуются и определяются параметры непрерывной формовки труб. Экспериментальное изуче-

ние продольной деформации полосы на межклетевом расстоянии проводили с применением тензометрии [1], однако трудоемкость и ограниченность по длине очага не позволили этот метод применять в дальнейшем. Вышеперечисленные теоретические методики строились на серьезных допущениях, которые необходимо было уточнять экспериментальными исследованиями.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования процесса непрерывной формовки электросварных труб остаются актуальными и сейчас с целью выявления новых закономерностей напряженно-деформированного состояния полосы в зависимости от параметров очагов сворачивания. Физические эксперименты проведены на реальном металле и оборудовании.

В настоящее время кафедра ОМД НИТУ «МИСиС» обладает оборудованием для моделирования формовки сварных прямошовных труб [4–6]. Для моделирования непрерывной формовки труб используется установка ТЭСА 10-50, которая оснащена системой управления, включающей настройку деформационного инструмента рабочих клеток. Для определения энергосиловых параметров на клетях установлена тензометрическая система, позволяющая фиксировать усилия формовки по клетям и выводить данные в программе компьютера ТЭСА. Во время процесса формовки полосы в программном обеспечении предусмотрена опция регистрации данных с построением графиков в Excel.

Новая экспериментальная установка ТЭСА содержит в своем составе формовочный, сварочный и калибровочный станы ТЭСА. Оборудование и инструмент

позволяют одновременно изучать геометрические параметры трубной заготовки по всему очагу сворачивания для данного типоразмера трубы, а также менять геометрические параметры очага сворачивания за счет увеличения или уменьшения длины очага (менять количество формовочных клеток).

При настройке рабочего инструмента рабочих клеток (рис. 1) необходимо соблюдать ряд условий: выполнение строгой соосности верхнего и нижнего валков, где смещение оси верхнего валка относительно оси нижнего валка равно нулю ($\delta = 0$); углы поворота осей верхнего и нижнего валков равны нулю ($\gamma = 0$); вертикальное расстояние A_1 до вала относительно левой стойки равно расстоянию A_2 до вала правой стойки ($A_1 = A_2$, $A_3 = A_4$); горизонтальные расстояния до осей верхнего и нижнего валков идентичны ($B_1 = B_2 = B_3 = B_4$).

Рабочие клетки по линии формовки ТЭСА устанавливаются по горизонтали относительно дна нижнего валка (рис. 2).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ

В настоящей работе поставлена задача проведения физического и теоретического моделирования процесса формовки на базе экспериментального ТЭСА 10-50 для трубы 50×1 мм, получения и оценки качества экспериментальных образцов, коррекции технических параметров формовочного стана для получения качественной заготовки, а также сравнения замеренных силовых параметров процесса с расчетными.

В табл. 1 представлены параметры валкового инструмента.

На рис. 3 показаны калибры валкового инструмента с геометрическими параметрами.

Для трубы размером 50×1 мм выполнены расчеты параметров для монотонного и валкового очага формовки (рис. 4).

Полученный экспериментальный образец представлен на рис. 5.

В табл. 2 приведены параметры по фиксированным сечениям (по калибрам) для трех очагов сворачивания.

Графоаналитическое сравнение результатов представлено на рис. 6.

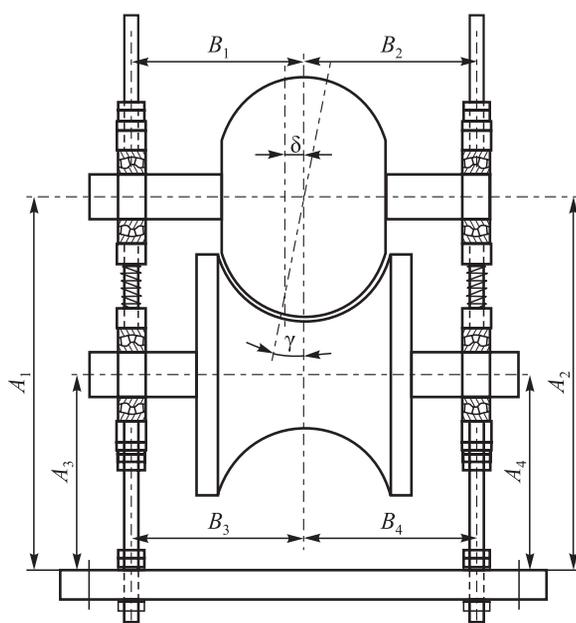


Рис. 1. Параметры настройки формовочной клетки

Fig. 1. Settings of the molding stand

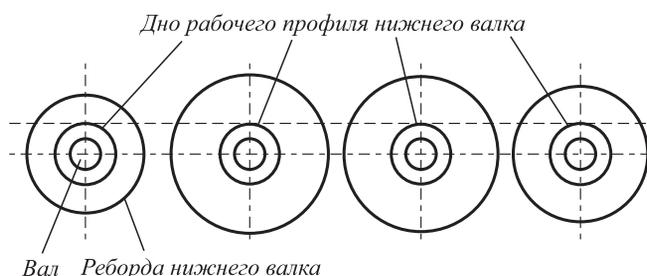


Рис. 2. Настройка калибров ТЭСА

Fig. 2. TESA pass alignment

Калибровка валкового инструмента

Table 1. Roller alignment

| Клеть | $R_{н.і}, мм$ | $\varphi_i, рад$ | $R_{в.і}, мм$ | $B_{кi}, м$ | $B_{в.і}, мм$ | $D_{н.дi}, мм$ | $D_{н.рi}, мм$ | $D_{в.д.1}, мм$ | $D_{в.рi}, мм$ |
|-------|---------------|------------------|---------------|-------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1 | 140,00 | 1,28 | 139,00 | 167,04 | 180 | 70 | 125,28 | 120 | 66,22 |
| 2 | 70,00 | 2,56 | 69,00 | 134,06 | 150 | 70 | 169,65 | 150 | 55,76 |
| 3 | 46,67 | 3,84 | 45,67 | 93,33 | 120 | 70 | 163,33 | 170 | 140,79 |
| 4 | 35,2 | 5,11 | 34,20 | 70,00 | 90 | 70 | 140,00 | 190 | 183,62 |

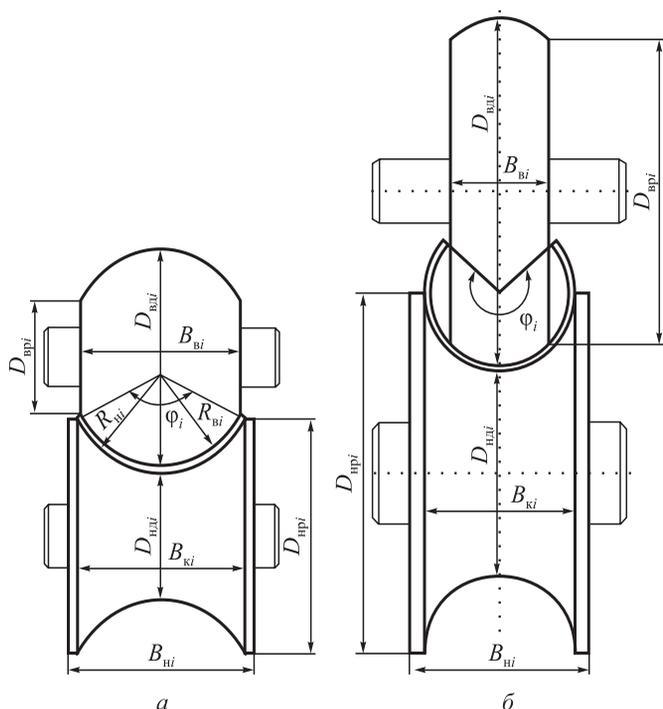


Рис. 3. Калибры валков:
а – <math>< 180^\circ</math>; б – $> 180^\circ$

Fig. 3. Roll gauges:
а – <math>< 180^\circ</math>; б – $> 180^\circ$

Анализ показал, что расхождение траектории кромок по клетям по высоте и ширине не превышает 6 – 9 %. Это значит, что методика расчета параметров валкового очага корректна.

Для исследования качества формовки определены и замерены энергосиловые параметры процесса [7 – 11]. На базе методик [12, 13] последовательно определены: тянущие усилия приводных клетей, значения сопротивлений по приводным клетям и вертикальные усилия формовки.

Для расчета использованы следующие данные: R_n – радиус наружной поверхности заготовки; S – толщина полосы; b_i – ширина калибра; $\sigma_T = 300$ МПа – предел текучести материала заготовки; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала; $\Pi = 1000$ МПа – модуль упрочнения материала при растяжении.

Усилия формовки полосы в калибре определяли по формуле

$$P = (1 + \beta) \frac{\sigma_T m S^2 l_i}{1,5 b_i}, \quad (1)$$

где β – коэффициент распружинивания; $m = 2$ – коэффициент упрочнения металла; l_i – длина очага формовки в клетях.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

В соответствии с анализом параметров полученной заготовки на первом формовочном участке, включающем горизонтальную клеть (ГК) 1 и эджерную клеть (ЭК) 1-2, заготовка сформована качественно. На втором участке, включающем ГК 2, ЭК 2-3 и ГК 3, на правой кромке на межклетевом расстоянии ЭК 1-2, ГК 3

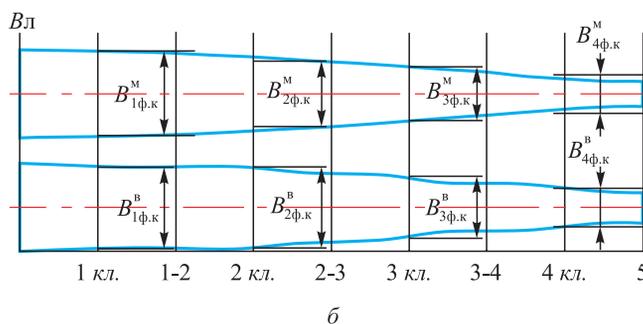
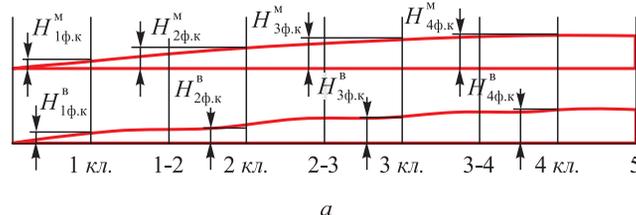


Рис. 4. Проекция очагов сворачивания трубной заготовки для монотонного и валкового очага формовки:
а – высота профиля заготовки в клетях и на межклетевых расстояниях; б – ширина профиля заготовки в клетях и на межклетевых расстояниях

Fig. 4. Projections of the focuses of pipe billet folding for monotonous and pass forming centers:
а – values of heights of the billet profile in stands and at the distances between stands; б – values of widths of the billet profile in stands and at distances between stands

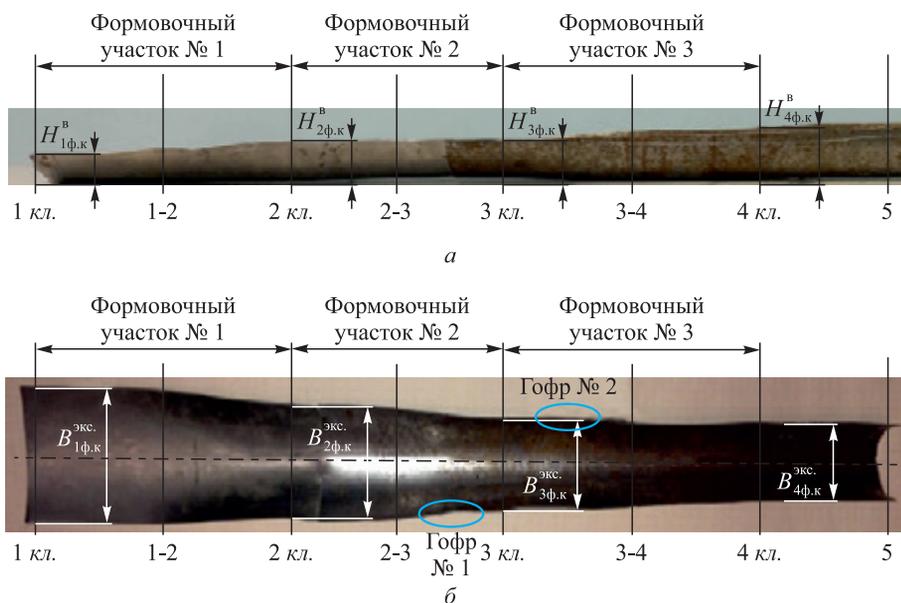


Рис. 5. Заготовка после формовки:
а – вид сбоку; б – вид сверху

Fig. 5. Billet after molding:
а – side view; б – top view

Т а б л и ц а 2

Параметры для очагов сворачивания

Table 2. Parameters of folding centers

| Параметр | Значение параметра по сечениям рабочих калибров ТЭСА | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1-2 | 2 | 2-3 | 3 | 3-4 | 4 | 5 |
| Монотонный очаг сворачивания | | | | | | | | |
| <i>B</i> , мм | 78,67 | 72,57 | 66,48 | 57,58 | 48,68 | 38,57 | 28,46 | 28,15 |
| <i>H</i> , мм | 22,80 | 32,43 | 42,06 | 48,53 | 54,99 | 57,53 | 60,07 | 63,14 |
| Валковый очаг сворачивания | | | | | | | | |
| <i>B</i> , мм | 78,67 | 79,41 | 66,48 | 69,20 | 48,68 | 53,92 | 28,46 | 35,87 |
| <i>H</i> , мм | 22,80 | 20,82 | 42,06 | 38,96 | 54,99 | 52,21 | 60,07 | 59,17 |
| Экспериментальный очаг сворачивания (после распружинивания) | | | | | | | | |
| <i>B</i> , мм | 78,60 | 76,50 | 65,40 | 65,10 | 52,25 | 46,50 | 34,10 | 36,32 |
| <i>H</i> , мм | 19,30 | 22,60 | 43,10 | 41,80 | 52,40 | 56,30 | 60,50 | 61,10 |

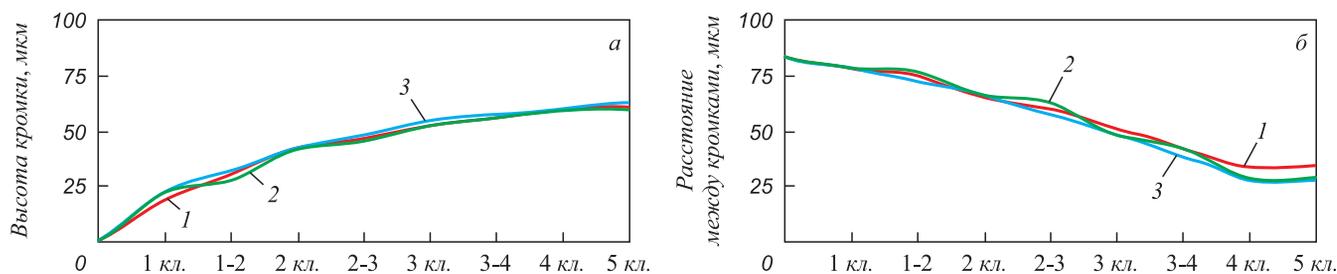


Рис. 6. Траектории кромок трубной заготовки для трех очагов сворачивания:

а – по высоте очага сворачивания; б – по ширине очага сворачивания; 1 – экспериментальный; 2 – теоретический; 3 – монотонный

Fig. 6. Trajectories of edges of the billet for three folding focuses:

а – along the height of the folding center; б – along the width of the folding center ; 1 – experimental; 2 – theoretical; 3 – monotonous

Энергосиловые параметры

Table 3. Power parameters

| Параметр | Значение параметров для участков | | | | | | |
|----------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 1 | 1-2 | 2 | 2-3 | 3 | 3-4 | 4 |
| P_B , Н | 43,33 | 120,40 | 88,95 | 100,57 | 152,28 | 81,03 | 200,72 |
| $P_{\text{соп}}$, Н | 97,93 | 9,79 | 117,52 | 11,75 | 137,10 | 13,71 | 156,69 |
| $P_{\text{тян}}$, Н | 107,72 | – | 145,4 | – | 150,81 | – | 172,36 |
| L , мм | 32,08 | 13,52 | 45,80 | 17,30 | 48,67 | 15,48 | 42,25 |

возникла гофра с параметрами $\Delta_r = 3,6$ мм. На третьем участке, включающем ГК 3, ЭК 3-4 и ГК 4, на левой кромке на межклетевом расстоянии ГК 3, ЭК 3-4 возникла гофра с параметрами $\Delta_r = 5,3$ мм.

Анализ показал, что образование гофры на правой кромке второго формовочного участка произошло из-за того, что подпор (тянущее усилие) ГК 2 ($27,9 \text{ Н} = 145,4 - 117,5 \text{ Н}$) по значениям превышает в два раза тянущие усилия ГК 3 ($13,7 \text{ Н}$). Такое соотношение тянущих усилий привело к смещению трубной заготовки и образованию гофра. Для устранения причины необходимо так настроить горизонтальные клетки, чтобы усилия по приводным клетям были идентичны ГК 2 ($27,9 = 145,4 - 117,5 \text{ Н}$) и ГК 3 ($28,9 = 166 - 137,1 \text{ Н}$). Увеличение тянущих усилий в ГК 3 с 13 Н до $28,9 \text{ Н}$ обеспечили за счет дополнительного прижатия верхнего вала. Для этого понадобилось опустить верхний валок на $0,17$ мм.

Образование гофры на левой кромке третьего формовочного участка произошло из-за того, что подпор (тянущее усилие) ГК 3 (13 Н) по значениям превышает тянущее (тормозящее) усилие ГК 4 ($-2,39 \text{ Н}$), у которой тянущие силы отсутствовали (возникли тормозящие усилия). Такое соотношение тянущих усилий привело к смещению трубной заготовки и образованию гофра на участке ГК 3, ЭК 3-4. Для устранения причины образования гофра настроили горизонтальные клетки так, что тянущие усилия ГК 4 ($43,3 = 200 - 156,7 \text{ Н}$) превышали тянущие усилия ГК 3 ($28,90 = 166 - 137,1 \text{ Н}$). Изме-

ние тянущих усилий в ГК 4 за счет дополнительного прижатия верхнего вала обеспечило изменение усилий с $-2,39 \text{ Н}$ на $43,31 \text{ Н}$. Для этого опустили верхний валок на $0,21$ мм.

Скорректированные расчетные данные энергосиловых параметров (ЭСП) по процессу представлены в табл. 4.

Последующие эксперименты позволили получить качественную трубную заготовку (рис. 7).

При оценке качества формовки важную роль играют значения энергосиловых параметров и распределение их по приводным клетям стана [14 – 18]. Равномерное соотношение тянущих усилий и распределение их по соседним клетям обеспечивает уравновешенную нагрузку на заготовку при непрерывном формоизменении и позволяет стабилизировать очаг сворачивания [19 – 21]. Расчетные методики определения ЭСП учитывали максимальное число технических параметров. В настоящей работе расчет проведен по методикам [12, 13]. Методика [12] учитывает геометрические параметры сформованной заготовки и особенности участка очага сворачивания с учетом внеконтактной деформации. Методика [13] базируется на учете контактного взаимодействия заготовки и профилированного инструмента по сечениям деформации. Аналитическое сравнение усилий формовки представлено на рис. 8. Значения усилий формовки по клетям по методике [12] и экспериментальным замерам отличаются незначительно, на $6 - 8 \%$, с методикой [13] – на $8 - 12 \%$.

Расчетные данные энергосиловых параметров

Table 4. Calculated data on power parameters

| Параметр | Значение параметров для участков | | | | | | |
|----------------------|----------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | 1 | 1-2 | 2 | 2-3 | 3 | 3-4 | 4 |
| P_B , Н | 43,33 | 18,26 | 88,95 | 33,60 | 152,28 | 48,42 | 200,72 |
| $P_{\text{соп}}$, Н | 97,93 | 1,46 | 117,52 | 2,69 | 137,10 | 3,87 | 156,69 |
| $P_{\text{тян}}$, Н | 120,00 | – | 145,36 | – | 166,00 | – | 200,00 |
| L , мм | 32,08 | 13,52 | 45,80 | 17,30 | 48,67 | 15,48 | 42,25 |

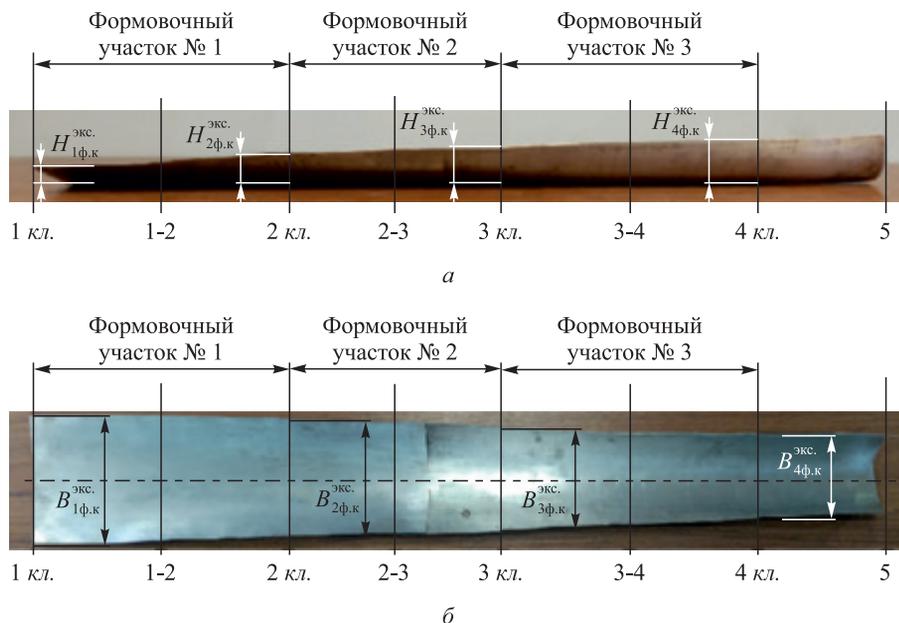


Рис. 7. Заготовка после формовки со скорректированными ЭСП:
а – вид сбоку; б – вид сверху

Fig. 7. Billet after molding with corrected ESP:
а – side view; б – top view

Установка ТЭСА 10-50 расширяет границы исследования процесса непрерывной формовки. Ее конструкция позволяет изменять параметры очагов сворачивания: межклетевое расстояние, компоновку клеток, геометрию инструмента, кинематические условия формовки, траектории сворачивания полосы. Для определения ЭСП формовки в клетях установлены тензодатчики, которые фиксируют усилия в процессе формовки. ЭСП отображаются в программном обеспечении в виде графиков, в которых можно определить усилия при входе полосы в клетку, при выходе полосы из клетки и при установившемся процессе непрерывной формовки.

Таким образом, освоенная экспериментальная установка позволит исследовать геометрические параметры

в широких пределах, а также напряженно-деформированное состояние заготовки и энергосиловые параметры процесса.

Выводы

Проверены и настроены калибры ТЭСА 10-50 на участке открытых клеток, проведен эксперимент для трубы диам. 50 и стенкой 1 мм. Эксперимент показал, что на первом формовочном участке заготовка сформована качественно. На втором и третьем формовочном участках возникли гофры соответственно на правой и левой кромках заготовки и боковое смещение. Анализ качества формовки установил, что образование гофры на правой кромке второго формовочного участка произошло из-за того, что подпор ГК 2 превышает в два раза тянущие усилия ГК 3. Это привело к боковому смещению трубной заготовки и образованию гофры. Образование гофры на левой кромке третьего формовочного участка произошло из-за того, что подпор ГК 3 превышает тянущие усилия ГК 4. Для устранения дефектов на втором и третьем формовочном участках настроили горизонтальные клетки так, чтобы усилия по приводным клетям были идентичны. Установлено, что равномерное соотношение тянущих усилий и распределение их по приводным клетям обеспечивает стабильное и устойчивое формоизменение трубной заготовки.

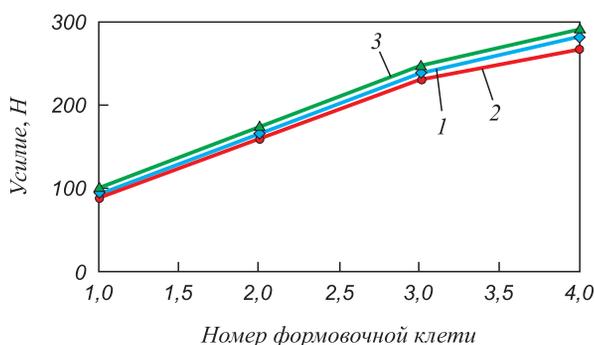


Рис. 8. Усилие формовки по клетям:
1 – по данным работы [12]; 2 – эксперимент;
3 – по данным работы [13]

Fig. 8. Forming force on stands:
1 – based on work [12]; 2 – experiment;
3 – based on work [13]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рымов В.А., Полухин П.И., Потапов И.Н. Совершенствование производства сварных труб. – М.: Металлургия, 1983. – 286 с.

2. Матвеев Ю.М., Ваткин Я.Л. Калибровка инструмента трубных станов. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1970. – 480 с.
3. Жуковский Б.Д., Зильберштейн Л.И., Фурманов В.Б. Производство труб. – М.: Металлургия, 1970. – 106 с.
4. Самусев С.В., Жигулев Г.П., Фадеев В.А., Монахов К.С. Моделирование процесса деформации трубной заготовки на специализированной профилигибочной установке // Изв. вуз. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 3. С. 154 – 158.
5. Самусев С.В., Алещенко А.С., Фадеев В.А. Моделирование процесса непрерывной формовки сварных прямошовных труб на базе «ТРЕНАЖЕРА ТЭСА 10-50» // Изв. вуз. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 5. С. 378 – 384.
6. Самусев С.В., Захаров Д.В., Маршалкин Е.Л., Борисевич В.Г. Совершенствование технологии производства тонкостенных труб и оболочек малого диаметра // Изв. вуз. Черная металлургия. 2007. № 7. С. 36 – 38.
7. Walker T.R., Pick R.J. Developments in the geometric modelling of an ERW pipe skelp // Journal of Materials Processing Tech. 1991. Vol. 25. No. 1. P. 35 – 54.
8. Юсупов В.С., Колобов А.В., Акоюн К.Э. и др. Совершенствование технологии производства электросварных прямошовных труб // Сталь. 2015. № 8. С. 44 – 50.
9. Sun B.-F., Jin Y.-H. Simulation analysis of shaping process of high frequency longitudinal electric resistance welded pipe // Journal of China University of Petroleum. 2010. Vol. 34. No. 4. P. 123 – 126.
10. Kasaei M.M., Naeini H.M., Tafti R.A., Tehrani M.S. Prediction of maximum initial strip width in the cage roll forming process of ERW pipes using edge buckling criterion // Journal of Materials Processing Technology. 2014. Vol. 214. No. 2. P. 190 – 199.
11. Han Z.-W., Liu C., Lu W.-P. etc. Experimental investigation and theoretical analysis of roll forming of electrical resistance welded pipes // Journal of Materials Processing Technology. 2004. Vol. 145. No. 3. P. 311 – 316.
12. Технологии трубного производства / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев и др. – М.: Интермет инжиниринг, 2002. – 640 с.
13. Машины и агрегаты трубного производства / А.П. Коликов, В.П. Романенко, А.Д. Шейх-Али и др. – М.: МИСиС, 1998. – 541 с.
14. Барабанцев Г.Е., Тюляпин А.Н., Колобов А.В., Юсупов В.С. Совершенствование технологии производства электросварных прямошовных труб // Производство проката. 2005. № 5. С. 21 – 23.
15. Li J.-X., Xie L.-Y., Wang J.-J., Xiong J.-H. Numerical study of the forming process of high frequency welded pipe // Journal of Shanghai Jiaotong University. 2010. Vol. 15. No. 2. P. 236 – 240.
16. Abeyrathna B., Rolfe B., Weiss M. The effect of process and geometric parameters on longitudinal edge strain and product defects in cold roll forming // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017. Vol. 92. No. 1 – 4. P. 1 – 12.
17. Abeyrathna B., Rolfe B., Hodgson P., Weiss M. Local deformation in roll forming // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017. Vol. 88. No. 9 – 12. P. 2405 – 2415.
18. Iguchi K., Kuriyama Y., Moroi etc. Deformation behavior of high strength steel sheet during roll forming of electric resistance welded pipe // Steel Research International. 2012. SPL. ISSUE. P. 927 – 930.
19. Paralikas J., Salonitis K., Chryssoulouris G. Energy efficiency of cold roll forming process // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2013. Vol. 66. No. 9 – 12. P. 1271 – 1284.
20. Pantou S.M., Zhu S.D., Duncan J.L. Geometric Constraints on the Forming Path in Roll Forming Channel Sections // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 1992. Vol. 206. No. 2. P. 113 – 118.
21. Cai Liu, Zhiwu Han, Lele Zhang, Weiping Lu. Numerical modelling of the roll forming process of channel steel // Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition). 1999. Vol. 12. No. 3. P. 173 – 177.

Поступила в редакцию 5 февраля 2018 г.

После доработки 15 октября 2018 г.

Принята к публикации 1 декабря 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2019. VOL. 62. NO. 7, PP. 531–538.

MODELING OF LONGITUDINAL WELDED PIPE FORMING IN OPEN ROLLING PASS UNIT OF ELECTRIC WELD PIPE MILL

S.V. Samusev, V.A. Fadeev

National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS),
Moscow, Russia

Abstract. The results of theoretical and physical modeling of pipes forming process are described. Experiments on strip billets forming were carried out on 10-50 pipe-welding mill for a pipe 50 mm in diameter with 1mm wall. Forming of pipe billets was carried out at unit of forming horizontal and vertical stands with estimation of geometrical parameters. Roll drafting is one-radial. Energy-power parameters of the process that affect quality of billet geometry were determined and measured. Analysis of geometric parameters of resulting billet has revealed defects of buckling type on the billet’s right edge between the second edger and the third molding stand. Similar defect was detected at the left edge of the billet at a distance of the third molding and edger stands. To eliminate defects in forming section, shaping stands were rebuilt so that forces on drive cells were identical. Energy-force parameters of the process were sequentially determined: pulling forces of drive stands, resistance to strip movement and vertical molding forces. Calculations for determining energy-force parameters were performed taking into account the main technical parameters using two methods. The first technique takes into account geometric parameters of molded billet and parameters of working zone with the zone of non-contact deformation. The second method is based

on consideration of contact interaction between the billet and shaped instrument along the deformation section. Discrepancy between calculated and experimental data was 8 – 12 %. After adjusting technical parameters of the molding process and the passes re-adjusting, a defect-free pipe billet was formed. Comparative analysis of calculated and experimental edge trajectories along the height and width of the cages showed discrepancy in results in range of 6 – 9 %. While studying geometric parameters of the focus of deformation, contact and non-contact zones of working zone and area of sprinkling were taken into account. Parameters of the pipe billet shaping in monotonous and roll forming centers have been calculated. Analysis of the results has shown that change in billet’s geometry in shaping stand corresponds to the accepted statements of billet’s geometry changes in rolling pass.

Keywords: cold roll-forming, TESA, molding mill, electric-welded pipe, roller forming, modeling, shaped roll.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-7-531-538

REFERENCES

1. Rymov V.A., Polukhin P.I., Potapov I.N. *Sovershenstvovanie proizvodstva svarnykh trub* [Improving the production of welded pipes]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 286 p. (In Russ.).

2. Matveev Yu.M., Vatkin Ya.L. *Kalibrovka instrumenta trubnykh stanov* [Pipe mills tool alignment]. Moscow: Metallurgiya, 1970, 480 p. (In Russ.).
3. Zhukovskii B.D., Zil'bershtein L.I., Furmanov V.B. *Proizvodstvo trub* [Pipe production]. Moscow: Metallurgiya, 1970, 106 p. (In Russ.).
4. Samusev S.V., Zhigulev G.P., Fadeev V.A., Manakhov K.S. Simulation of forming pipe billet at specialized forming installation. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2016, vol. 59, no. 3, pp. 154–158.
5. Samusev S.V., Aleshchenko A.S., Fadeev V.A. Simulation of the process of continuous forming of straight-seam welded pipes on the basis of “Tesa 10-50 trainer”. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2018, vol. 61, no. 5, pp. 378–384.
6. Samusev S.V., Aleshchenko A.S., Fadeev V.A. Improving production technology of thin-walled pipes and shells of small diameter. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2007, no. 7, pp. 36–38. (In Russ.).
7. Walker T.R., Pick R.J. Developments in the geometric modelling of an ERW pipe skelp. *Journal of Materials Processing Tech.* 1991, vol. 25, no. 1, pp. 35–54.
8. Yusupov V.S., Kolobov A.V., Akopyan K.E., Seleznev M.S., Sominin M.A. Improving the production of electrowelded straight-seam pipe. Part 1. *Steel in Translation*. 2015, vol. 45, no. 8, pp. 598–604.
9. Sun B.-F., Jin Y.-H. Simulation analysis of shaping process of high frequency longitudinal electric resistance welded pipe. *Journal of China University of Petroleum*. 2010, vol. 34, no. 4, pp. 123–126.
10. Kasaei M.M., Naeini H.M., Tafti R.A., Tehrani M.S. Prediction of maximum initial strip width in the cage roll forming process of ERW pipes using edge buckling criterion. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014, vol. 214, no. 2, pp. 190–199.
11. Han Z.-W., Liu C., Lu W.-P. etc. Experimental investigation and theoretical analysis of roll forming of electrical resistance welded pipes. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004, vol. 145, no. 3, pp. 311–316.
12. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romantsev B.A., etc. *Tekhnologii trubnogo proizvodstva* [Pipe production technologies]. Moscow: Intermet inzhiniring, 2002, 640 p. (In Russ.).
13. Kolikov A.P., Romanenko V.P., Sheikh-Ali A.D. etc. *Mashiny i agregaty trubnogo proizvodstva* [Machines and units for pipe production]. Moscow: MISiS, 1998, 541 p. (In Russ.).
14. Barabantsev G.E., Tyulyapin A.N., Kolobov A.V., Yusupov V.S. Improvement of production of electric welded longitudinal pipes. *Proizvodstvo prokata*. 2005, no. 5, pp. 21–23. (In Russ.).
15. Li J.-X., Xie L.-Y., Wang J.-J., Xiong J.-H. Numerical study of the forming process of high frequency welded pipe. *Journal of Shanghai Jiaotong University*. 2010, vol. 15, no. 2, pp. 236–240.
16. Abeyrathna B., Rolfe B., Weiss M. The effect of process and geometric parameters on longitudinal edge strain and product defects in cold roll forming. *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017, vol. 92, no. 1-4, pp. 1–12.
17. Abeyrathna B., Rolfe B., Hodgson P., Weiss M. Local deformation in roll forming. *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017, vol. 88, no. 9-12, pp. 2405–2415.
18. Iguchi K., Kuriyama Y., Moroi etc. Deformation behavior of high strength steel sheet during roll forming of electric resistance welded pipe. *Steel Research Int.* 2012. SPL. ISSUE, pp. 927–930.
19. Paralikas J., Salonitis K., Chryssolouris G. Energy efficiency of cold roll forming process. *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013, vol. 66, no. 9-12, pp. 1271–1284.
20. Panton S.M., Zhu S.D., Duncan J.L. Geometric Constraints on the Forming Path in Roll Forming Channel Sections. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 1992, vol. 206, no. 2, pp. 113–118.
21. Cai Liu, Zhiwu Han, Lele Zhang, Weiping Lu. Numerical modelling of the roll forming process of channel steel. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*. 1999, vol. 12, no. 3, pp. 173–177.

Information about the authors:

S.V. Samusev, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metal Forming” (sergei18.58@mail.ru)
V.A. Fadeev, Engineer (fdv_viktor@mail.ru)

Received February 5, 2018
 Revised October 15, 2018
 Accepted December 1, 2018