



УДК 621.774.2

С.В. Самусев, В.А. Фадеев
Национальный исследовательский
технологический институт «МИСиС»
г. Москва, Россия
E-mail: fdv_viktor@mail.ru
Дата поступления 14.02.2019

КОНСТРУКЦИЯ ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО АГРЕГАТА 30-50 И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ ПРЯМОШОВНЫХ СВАРНЫХ ТРУБ

Аннотация

Для изучения непрерывных процессов формовки труб малого и среднего диаметров применяются различные методы исследования, один из методов основывается на прямом физическом моделировании процесса на реальном металле. Отсутствие специализированного оборудования ограничивает изучение и исследование непрерывных процессов формовки. Для устранения этого недостатка на кафедре ОМД «НИТУ МИСиС» спроектирован и изготовлен трубоэлектросварочный стан 30-50. В статье представлена конструкция трубоэлектросварочного стана 30-50, на котором можно реализовать основные производственные схемы непрерывной формовки труб. Конструкция клеток трубоэлектросварочного стан 30-50 обеспечивает совместимость с разными комплектами сменного рабочего инструмента, что открывает возможности физического моделирования и исследования процессов формовки, сварки, калибровки, редуцирования и профилирования сварных труб. Выполнен расчет контактного взаимодействия трубной заготовки и валкового инструмента, изготовленного по однорадиусной калибровке. Определено положение катающего диаметра, который разделяет площадь контактного взаимодействия на зоны опережения и отставания.

Ключевые слова: трубоэлектросварочный агрегат, труба, прямошовные трубы, формовка, кинематические параметры, силовые параметры.

Введение

Для изучения процессов непрерывной формовки труб применяются различные методы исследования с различными компоновками оборудования.

В настоящей статье типовые станы трубоэлектросварочных агрегатов (ТЭСА) для производства сварных труб непрерывным способом представлены на базе экспериментального стана ТЭСА 30-50 – НИТУ «МИСиС».

Типовые станы ТЭСА для производства сварных труб (основные производственные схемы) представлены на рисунке 1 [1].

На базе ТЭСА 30-50 могут быть реализованы следующие схемы:

- схема 1 представлена компоновкой клеток для получения сварных труб круглого сечения (формовочный стан) – сварочный стан – калибровочный стан;

- на схеме 2 представлена компоновка клеток для получения сварных труб круглого сечения (формовочный стан) – сварочный стан – редуциционный стан;

- на схеме 3 представлена компоновка клеток для получения сварных труб круглого сечения (формовочный стан) – сварочный стан – профилировочный стан;

На рисунке 2 приведены компоновки оборудования станом ТЭСА 30-50 для непрерывной формовки сварных прямошовных труб. На базе представленной главной линии могут быть реализованы все основные производственные компоновки [2].

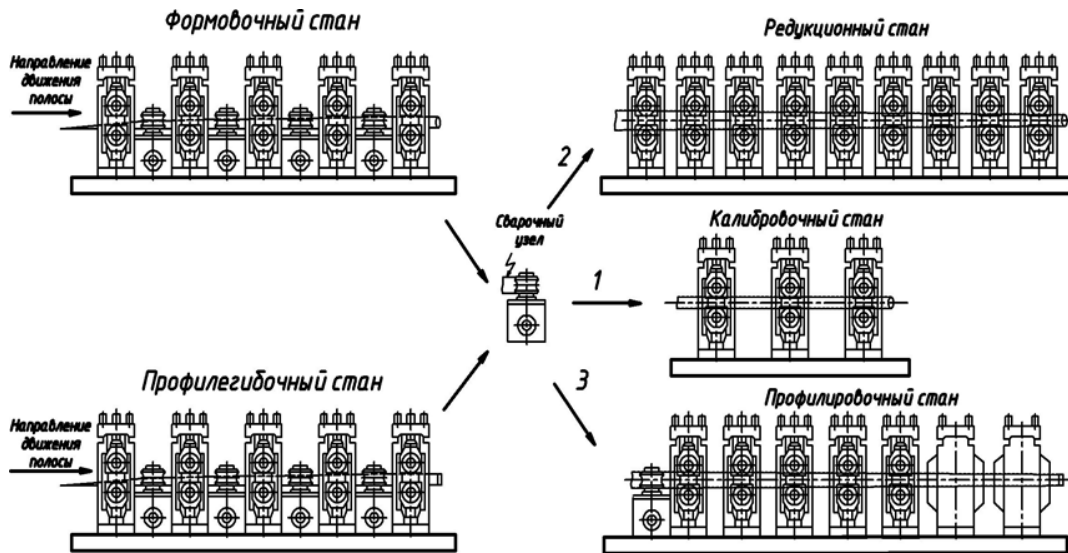


Рисунок 1. Типовые станы (производственные схемы) трубоэлектросварочных агрегатов

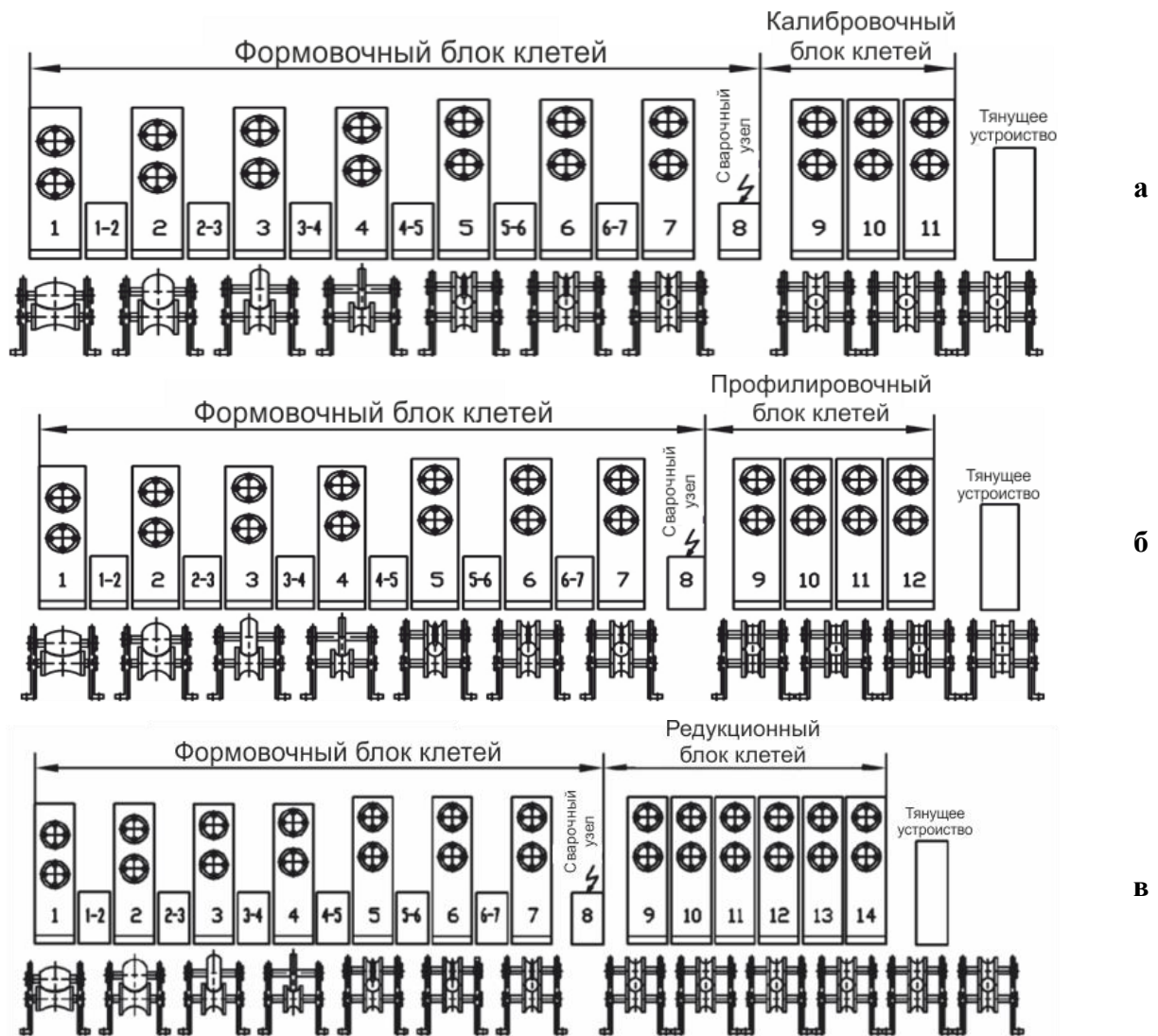


Рисунок 2. Основные производственные компоновки: а) компоновка клеток для получения сварных труб круглого сечения; б) компоновка клеток для получения сварных профилированных труб из круглой заготовки; в) компоновка клеток для получения сварных холодно-редуцированных труб

Основная часть

ТЭСА 30-50 позволяет реализовать как типовые, так и нестандартные компоновки клетей. Это достигается путем заданного размещения рабочих клетей на плитовинах, на которых монтируются скомпонованные в определенной последовательности клетки. Конструкция клетей тренажера обеспечивает совместимость с разными комплектами сменного рабочего инструмента, что открывает возможности физического моделирования и исследования процессов формовки, сварки, калибровки, редуцирования и профилирования сварных труб.

Изменяя компоновку рабочих клетей и сменив комплект инструмента в главной линии тренажера можно моделировать различные технологические процессы и схемы формоизменения при производстве сварных труб, некоторые из которых представлены ниже.

На рисунке 2а исходная стальная полосовая заготовка деформируется в формовочном блоке клетей. Затем сведение кромок осуществляется в сварочном узле. Далее сформованная круглая трубная заготовка из формовочно - сварочного блока поступает в калибровочный блок.

На рисунке 2б исходная стальная полосовая заготовка деформируется в формовочном блоке клетей и на выходе из блока клетей имеет сечение, близкое к кругу. Затем осуществляется сведение кромок в сварочном узле. Далее круглая трубная заготовка поступает в профилирующий блок клетей. Получение сварной профильной трубы реализуется путем размещения блока профилирующих клетей.

На рисунке 3в стальная полосовая заготовка деформируется в формовочном блоке клетей. Затем сведение кромок осуществляется в сварочном узле. Далее сформованная круглая трубная заготовка из формовочно-сварочного блока поступает в редуцирующий блок.

В настоящее время для изучения процессов непрерывной формовки труб применяются различные методы исследования. К ним можно отнести компьютерное моделирование и физическое моделирование на

действующем оборудовании. Компьютерное моделирование технологии и оборудования процесса формовки труб позволяет разрабатывать новые компоновки рабочих клетей станом ТЭСА и получать результаты процесса формоизменения листовой заготовки на этом оборудовании. Технические параметры процесса сложно проверить на реальном металле и оборудовании из-за напряженной производственной программы в цехе. Экспериментальное оборудование должно соответствовать выбранной компьютерной модели, чего сложно добиться ввиду широкого множества компоновок формовочных клетей и валкового инструмента.

Для возможности проверки результатов исследования на кафедре ОМД МИСиС разработан и спроектирован трубоэлектросварочный стан ТЭСА 30-50 (рисунок 3), реализующий схемы компоновок по рисункам 1,2.

Трубоэлектросварочный стан 30-50 состоит из рамы -1, на которую установлены формовочные клетки - 2. Каждая клеть оборудована шаговыми двигателями - 3 и тензодатчиками - 4. Шаговые двигатели перемещают по вертикали валковые узлы с точностью позиционирования до 0,05 мм. Тензодатчики измеряют усилие формовки (максимально допустимое усилие 50 кН). Программное обеспечение рисунок 4 позволяет управлять расположением валкового инструмента и фиксировать усилие формовки в каждой клетке.

Программа строит график усилия формовки по клетям. Валковый инструмент выполнен по однорадиусной калибровке. Привод выполнен в виде зубчатой передачи от мотора-редуктора - 5. Крутящий момент передается между клетями с помощью дюймовой приводной цепи. Сдвоенная приводная звездочка установлена на консольном участке нижнего валка. ТЭСА 30-50 и позволяет создавать типовые и нестандартные компоновки клетей.

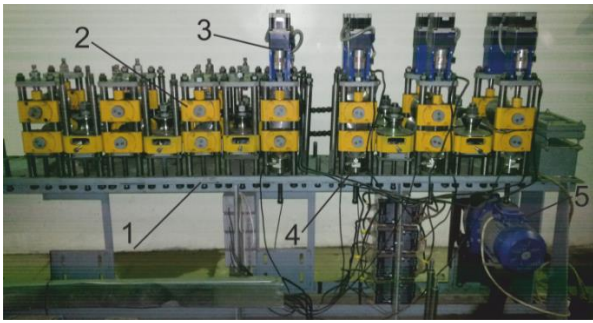


Рисунок 3. Трубоэлектросварочный стан 30-50



Рисунок 4. Окно программы управления и фиксирования параметров

Конструкция формовочной клетки (рисунок 5) состоит из двух валков - 1, относительно подшипниковой опоры на валке смонтированы дистанционные втулки - 2 между подшипниками и валком. В подушках - 3 установлены подшипниковые опоры (радиальные сферические двухрядные роликоподшипники). Валковый узел смонтирован на стержнях - 4, закрепленных в раме тренажера.

Узел эджера (рисунок 6) состоит из эджерных валков - 1, установленных на оси - 2. Ось зафиксирована в приводной кассете - 3, которая установлена в раме - 4 с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости перпендикулярно оси формовки. Регулировка горизонтального перемещения осуществляется с помощью регулировочного винта 5 с маховиком.

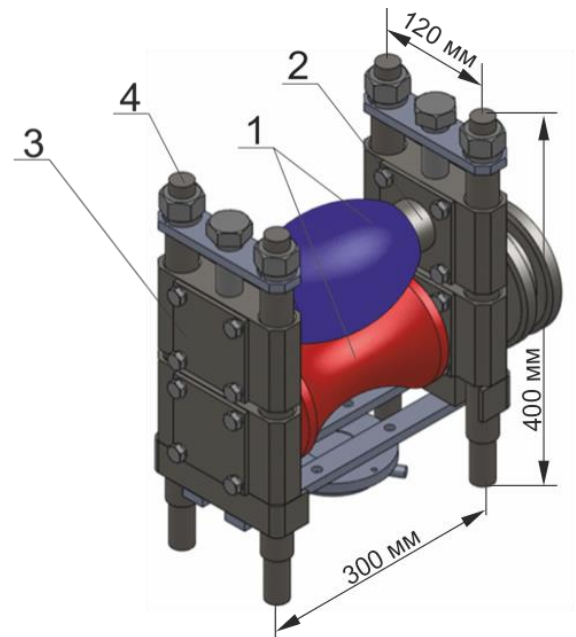


Рисунок 5. Горизонтальная формовочная приводная клеть.

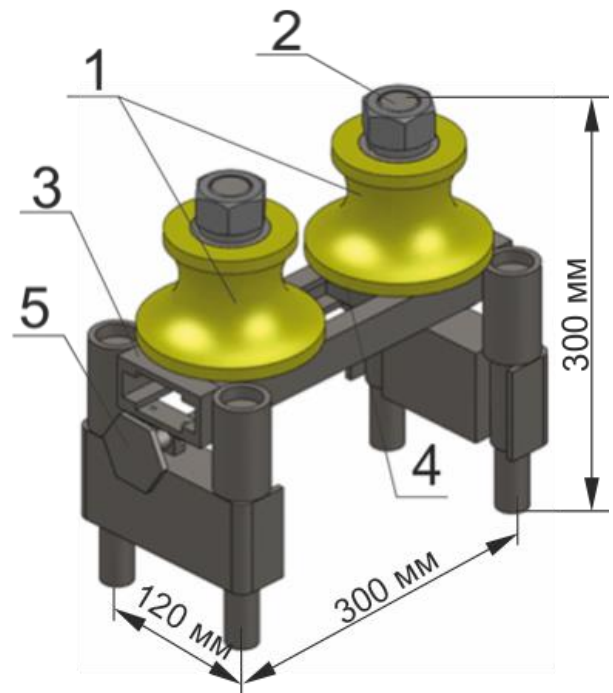


Рисунок 6. Конструкция эджерной клетки.

В настоящее время на ТЭСА 30-50 используется комплект инструмента, выполненный по однорадиусной схеме сворачивания для трубы диаметром 50 мм [3]. В таблице 1 представлены геометрические параметры валкового инструмента.

Геометрические характеристики валкового инструмента

№ формовочной клетки	Rн, мм	φ, рад	Rв, мм	Вк, мм	Вв, мм	Днд, мм	Днр, мм	Двд, мм	Двр, мм
1	140	1,19	139	167	150	70	120	120	76,
2	70	2,38	69	134	120	70	160	150	82,1
3	48	2,8	47	93,3	80	70	160	170	125,3
4	37	4,51	36	70	40	70	150	190	177,8
5	32,4	5,31	32,4	63	63	70	120	70	120
6	29,9	5,58	29,9	58,9	58,9	70	120	70	120
7	28,1	5,79	28	55,8	55,86	70	120	70	120

Качество изготовления труб определяется техническими параметрами формовки. К основным техническим параметрам относятся: габаритные размеры валкового инструмента и настройка калибров, напряженно-деформированное состояние трубной заготовки, скорость формовки (кинематические параметры, размеры контактных площадей валков с заготовкой) и силовые параметры процесса.

Заданные величины деформаций по клетям формовочного стана являются необходимым, но недостаточными для производства качественных труб на станах непрерывных ТЭСА. Некоторые компоновки клеток и схемы деформации могут привести к искажению очага деформации из-за неравномерного распределения тянущих усилий по приводным калибрам, что может привести к некачественной формовке, поэтому важным является определение и регулировка силовых и кинематических параметров процесса формоизменения трубной заготовки. Силовые и кинематические параметры процесса формоизменения заготовки в калибрах деформационного стана возникают на контактных площадях ТЗ с инструментом [4].

Катающий диаметр определяет положение и значения зон опережения и отставания по площадкам контактного взаимодействия заготовки и валкового инструмента. Положение катающего диаметра определяется для валков калибра приводной клетки. В расчете определяли положение катающего диаметра, в сечении которого линейная скорость валка и полосы равны.

Сечение катающего диаметра калибра делит контактную площадь на тянущие и тормозящие зоны по верхнему и нижнему валкам [4].

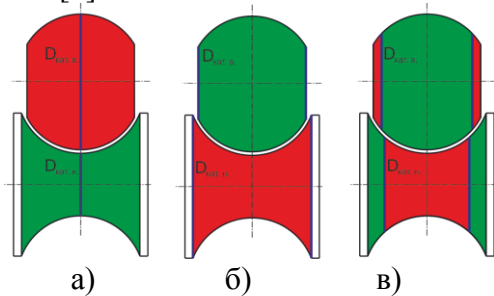


Рисунок 7. Варианты расположения катающего диаметра (синий цвет):

- а) катающий диаметр по середине калибра;
- б) катающий диаметр по краям валков;
- в) катающий диаметр по - середине валков калибра

В первом случае (а) вся контактная площадь нижнего валка находится в зоне опережения (зеленый цвет, тянущие усилия приложены по ходу формовки заготовки), поскольку все диаметры нижнего валка больше значения катающего диаметра. Для верхнего валка картина обратная. Поскольку все диаметры верхнего валка меньше по значению катающего диаметра этого валка, контактная площадь находится в зоне отставания (красный цвет; тянущие усилия направлены против движения заготовки). Такое распределение тянущих усилий обеспечивает формовку и продвижение заготовки из калибра с одновременным изгибом профиля выходящей из калибра заготовки вверх.

Во втором случае (б) вся контактная

площадь нижнего валка находится в зоне отставания, поскольку все диаметры нижнего валка меньше значения катающего диаметра. Для верхнего валка картина обратная, поскольку все диаметры верхнего валка больше значения катающего диаметра этого валка. Такое распределение тянущих усилий стремится сформовать и продвинуть профиль с изгибом профиля выходящего из калибра заготовки в низ.

В третьем случае (в) контактные площади нижнего и верхнего валков делятся на две зоны. Зоны, в которых значения диаметров больше значения катающего диаметра валка, являются зонами опережения. Зоны, в которых значения диаметров меньше значения катающего диаметра валка, являются зонами отставания.

Расчет проводили по методикам [5-7]:

Радиус первого валка в сечении кромки заготовки, мм:

$$R_{1к} = \frac{D_1^H}{2} + R_1^H \left(1 - \cos \frac{B}{2 \cdot R_1^H}\right),$$

где - D_1^H – диаметр нижнего валка по дну, мм; R_1^H – радиус формовки нижнего валка, мм; B – ширина заготовки, находящейся в контакте с валком, мм.

Высота профиля, мм:

$$H_1 = R_1^H \left(1 - \cos \frac{B}{2 \cdot R_1^H}\right),$$

Длина контакта кромки с валком, мм:

$$L_{1к}^H = R_1^H \cdot \sin \left(\frac{\theta_1}{2}\right),$$

Длина контакта кромки с валком с учетом 10% распужинивания, мм:

$$l_{1к}^H = 0,1 \cdot L_{1к}^H,$$

Определение катающего диаметра валков первой клетки:

$$D_{1к} = \frac{V_L \cdot 1000}{\omega \cdot 60},$$

Угловая скорость:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ рад/с,}$$

Определение тянущих усилий валков:

- тянущее усилие гiba, обеспечивающее получение трубной заготовки с заданными геометрическими параметрами калибра:

$$T_{\Gamma} = \tau \cdot \left(\frac{S_{\Gamma}}{2R_i} - \frac{S_{\Gamma}}{2R_{i-1}}\right) \cdot \frac{S_{\Gamma}}{2} \cdot B$$

где $\tau = \frac{\sigma_{\Gamma}}{\sqrt{3}}$

- тянущее усилие, необходимое для продвижения трубной заготовки, находящейся в контакте с данным калибром:

$$T_K = \tau \cdot (F_{от} - F_{оп}) \cdot f,$$

Следовательно,

$$T_{\Gamma} = T_{\Gamma}^B + T_{\Gamma}^H;$$

$$T_{\Gamma}^B = T_{\Gamma}^B + T_K^B = \tau \cdot \left(\frac{S_{\Gamma}}{2R_i} - \frac{S_{\Gamma}}{2R_{i-1}}\right) \cdot$$

$$\frac{S_{\Gamma}}{2} \cdot B + \tau \cdot (F_{от}^B - F_{оп}^B) \cdot f;$$

$$T_{\Gamma}^H = T_{\Gamma}^H + T_K^H = \tau \cdot \left(\frac{S_{\Gamma}}{2R_i} - \frac{S_{\Gamma}}{2R_{i-1}}\right) \cdot$$

$$\frac{S_{\Gamma}}{2} \cdot B + \tau \cdot (F_{от}^H - F_{оп}^H) \cdot f;$$

Результаты расчетов для первой клетки представлены в таблице 2.

На рисунке 8 представлены контактные площади трубной заготовки с верхним и нижним валками и тянущие усилия для первой клетки.

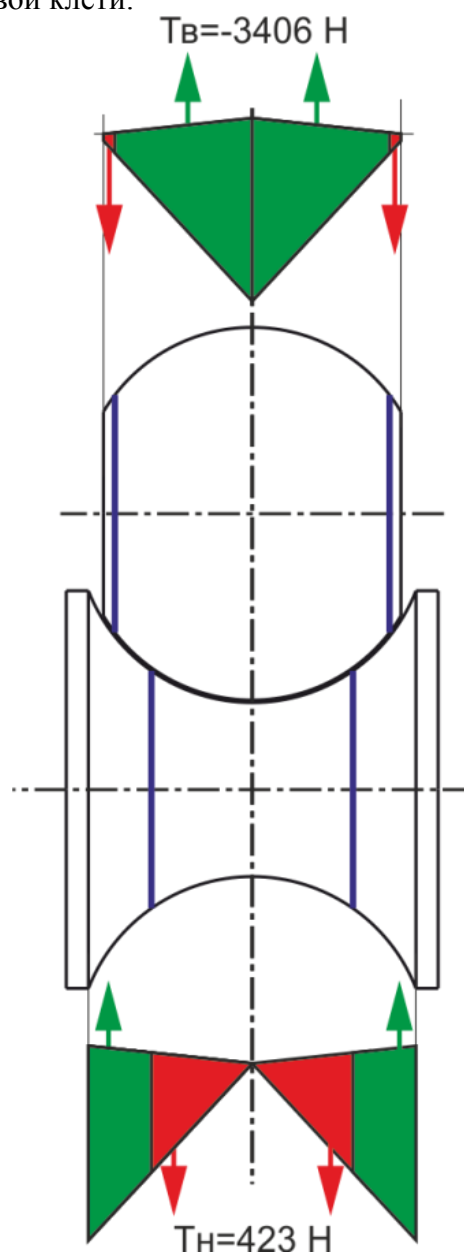


Рисунок 8 - Контактные площади трубной заготовки с верхним и нижним валками и тянущие усилия

Таблица 2

Результаты расчетов первой для первой клетки

Частота вр. вала	Линей- ная ско- рость	Угловая скорость, рад./с.	Кат. Диам. мм	F в.опр, мм ²	Fв.отс, мм ²	Fн.опр, мм ²	Fн.отс, мм ²	Тв, Н	Тн, Н
30	10	3,14	106,15	3234,	860,7	1075,5	3114,8	-3406,9	423,8

Таблица 3

Результаты расчетов для всех клеток формовочного стана

Площади ТЗ с верхним валком							
	1	2	3	4	5	6	7
F в.опр, мм²	3234	4828	3770	2631	255	210	181
Fв.отс, мм²	861	227	-84	-548	1080	1269	1304
Площади ТЗ с нижним валком							
	1	2	3	4	5	6	7
Fн.опр, мм²	1076	2492	1462	675	255	210	174
Fн.отс, мм²	3115	2631	2328	1960	1436	1371	1323
Тянущие усилия по клетям							
	1	2	3	4	5	6	7
Тв, Н	2181	383	989	1402	1258	1217	1197
Тн, Н	-2278	-4411	-3695	-2544	947	1175	1200
Сумма	-97	-4028	-2707	-1142	2206	2392	2397

Результаты расчетов для всех клеток формовочного стана представлены в таблице 3.

Заключение

1. Представлены типовые схемы производства прямошовных сварных труб малого диаметра в линии ТЭСА и компоновки рабочего оборудования станков ТЭСА на базе ТЭСА 30-50 НИТУ "МИСиС".

2. Рассмотрены особенности конструкции рабочих клеток формовочного стана (рабочей приводной горизонтальной клетки и эджерной холостой клетки ТЭСА 30-50).

3. Представлена калибровка рабочего инструмента валков для трубы Ø 50 мм и рассмотрены типовые случаи расположения катающего диаметра относительно валков калибра и силовые условия выхода

сформованного профиля заготовки из калибра.

4. Для первого калибра ТЭСА 30-50 представлен расчет кинематических и силовых параметров для трубы \varnothing 50мм и распределение тянущих усилий по контактными площадям.

7. Выполнены расчеты для всех приводных клетей формовочного стана ТЭСА 30-50 для трубы \varnothing 50мм.

Библиографический список

1. Сборник докладов Международного научно-технического конгресса "ОМД 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии" Москва: МИСиС, 2014, 514 с.
2. Самусев С.В., Больдт В.В., Веремеевич А.Н. Исследование контактного взаимодействия металла с инструментом при профилировании сварной заготовки Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2009. № 11. С. 17-19.
3. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.М., Самусев С.В. Трубное производство, Учебник, 2-е изд., испр. и доп. - М.: Изд. дом МИСиС, 2011. - 970 с.
4. Самусев С.В., Фортунатов А.Н., Фролова Н.А., Пашкова Н.Г. Методы расчета калибровок инструмента и энергосиловых параметров процесса производства сварных труб в линии прессов и ТЭСА: сборник задач – ВФ МИСиС, 2006, 115с.
5. Коликов А.П., Романенко В.П., Самусев С.В., и др. Машины и агрегаты трубного производства, М.: МИСиС, 1998, 536 с.
6. 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, 12 (3), pp. 173-177
7. Paralikas J., Salonitis K., Chryssolouris G. Energy efficiency of cold roll forming process, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 66, Issue 9-12, 2013, pp 1271-1284.

Information about the paper in English

S.V. Samusev, V.A. Fadeev
National University of Science and Technology MISIS
Moscow, Russian Federation
E-mail: fdv_viktor@mail.ru
Received 14.02.2019

DESIGN OF THE ERW PIPE MILL 30-50 AND DEFINITION OF THE KINEMATIC PARAMETERS AND FORCES INVOLVED IN THE PRODUCTION OF LSAW PIPES

Abstract

Different study methods are applied when studying the continuous pipe forming process used in the production of small- and medium-diameter pipes. One of such methods is based on direct physical simulation of the process using actual steel. The lack of specialized equipment limits research into continuous pipe forming processes. To eliminate this constraint, the Department of Metal Forming at MISIS designed and built an ERW pipe mill 30-50. This paper describes the design of the ERW pipe mill 30-50, which can be used to implement the main continuous pipe forming routes. The stand design of the ERW pipe mill 30-50 is compatible with different sets of removable tools enabling to physically simulate and study such processes as forming, welding, sizing, reducing and shaping of welded pipes. Contact interaction was calculated between a pipe shell and rolls of a single radius design. The position of the effective diameter was determined that divides the contact interaction area into forward slip and backward slip zones.

Keywords: ERW pipe mill, pipe, LSAW pipes, forming, kinematic parameters, forces.
