

УДК 621.774.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ВАЛКОВОЙ СИСТЕМЫ КЛЕТЕЙ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ФОРМОВКИ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ

Иконников Даниил Андреевич

*Студент 6 курса,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Соколова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В связи с активным развитием нефтегазовой добывающей промышленности возрос спрос на сварные прямошовные трубы различного сортамента.

В настоящее время магистральные трубы среднего и большого диаметра производят методом непрерывной валковой формовки на трубозлектроэлектросварочных агрегатах (ТЭСА). Общий технологический процесс изготовления труб на ТЭСА состоит из следующих этапов (рис. 1):

- складирования рулонов;
- подготовки рулонного проката к задаче в производство;
- задачи рулонов в производство;
- размотки рулонов;
- правки рулонного проката;
- сварки концов рулонов;
- создания запаса рулонного проката (образования петли);
- обрезки боковых кромок рулонной стали;
- формовки трубной заготовки;
- сварки труб;
- удаления наружного грата;
- удаления внутреннего грата;
- неразрушающего контроля сварного шва;
- локальной термообработки сварного шва труб (ЛТО);
- калибровки и правки труб;
- резки труб;
- маркировки труб;
- отделки, испытания, контроля и приемки труб;
- упаковки, складирования, хранения и отгрузки труб.

Современные условия эксплуатации труб предполагают наличие низких температур, высокого давления и агрессивных сред. К трубам предъявляются высокие требования по физико-механическим характеристикам, химическому составу, точности формы и размеров, качеству поверхности готового изделия. К новым ТЭСА предъявляются следующие технологические требования:

1. Обеспечение гибкости производства, т.е. возможности быстрого перехода на производство труб различного сортамента в условия

2. Обеспечение требуемого качества труб из сталей повышенного класса прочности.

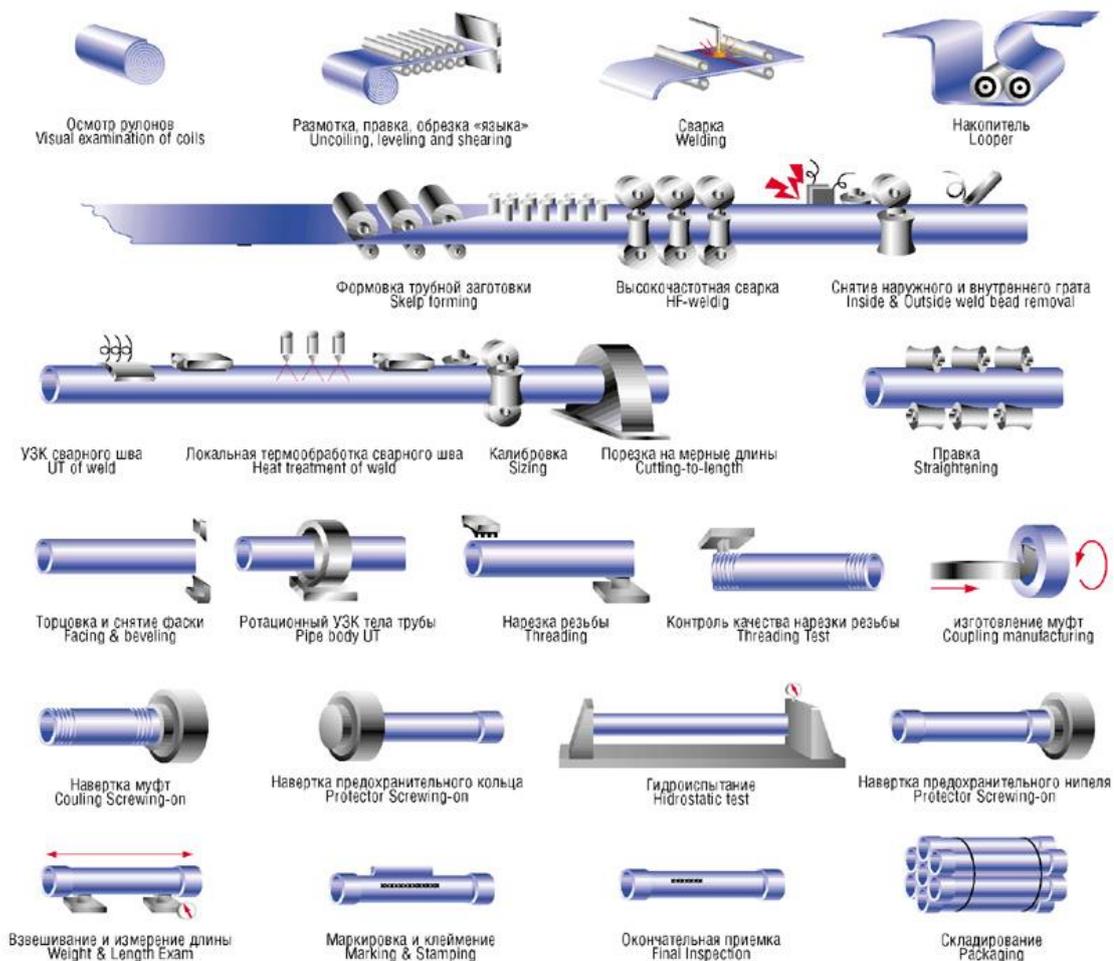


Рис. 1. Схема технологического процесса

Формовочный стан является участком технологической линии, который наиболее сильно влияет на выполнение современных требований, предъявляемых к ТЭСА. [1] Главной задачей для обеспечения требуемого качества является создание монотонного очага деформации при формообразовании труб.

При создании современного оборудования обеспечение устойчивого процесса формовки в основном достигается разработкой нового рабочего инструмента. Конструкции же формовочных клетей, а также конструкции узлов осей валков, не претерпевают каких-либо серьезных изменений.

Цель данной работы заключается в исследовании степени влияния жесткости валковой системы клетей различной конструкции на устойчивость процесса непрерывной формовки прямошовных труб нефтегазопроводного сортамента.

В большинстве случаев предприятия используют старое оборудование, формовочные клетки которого представляют собой пару валков необходимой для деформации штрипса формы, расположенные в пространстве станины (рис.2).

Конструкция формовочных клетей с закрытым типом калибра аналогична конструкции клетей с открытым типом калибра. Отличие составляет лишь дополнительная пара рабочего инструмента. В результате калибр состоит из четырех формирующих валков. [4]

Конструкция клетей, описанных выше, широко распространена ввиду ее простоты, поэтому систему подобной этой принято считать «классической». Использование оборудования данного типа позволяет массово производить трубную продукцию с редкими остановками для перевалки и установки нового комплекта

валков при переходе на производство другого типоразмера. Данные клетки внедрялись повсеместно с начала 60-х годов, когда в стране шел процесс создания системы нефтяных и газовых трубопроводов.

На сегодняшний день, год от года растет спрос на трубы различного сортамента, что связано с развитием различных отраслей промышленности. Требуется увеличение не только производительности трубных станов, но и их маневренности, то есть способности быстро перенастраиваться с одного размера труб на другой, с одного материала заготовки на другой. Однако, многие трубоэлектросварочные агрегаты (ТЭСА), построенные еще в прошлом тысячелетии, не рассчитаны на производство большого объема прямошовных электросварных труб различного типоразмера. Поэтому значительная часть существующих ТЭСА подлежат модернизации и реконструкции. Так же, следует отметить, что с ростом спроса на производство труб нефтегазового сортамента, повышаются и требования, предъявляемые к данному виду продукции металлургических предприятий. В основном это касается увеличения толщины стенки трубы, а также использование материалов с повышенными механическими свойствами.

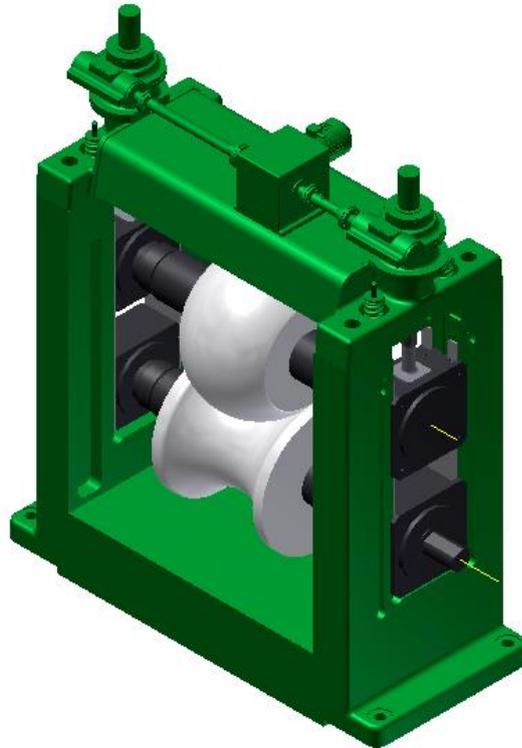


Рис. 2. Формовочная клетка с открытым типом калибра

Данные обстоятельства заставляют искать способы модернизации уже существующих трубоэлектросварочных агрегатов, так как не многие отечественные компании располагают возможностями увеличения объема производства путем введения в эксплуатацию новых линий и цехов по производству труб.

В основном изменения связаны с уже существующим оборудованием формовочного стана. Так как именно процесс формовки отвечает за производство качественной трубной заготовки, основные изменения касаются клеток формовочного стана трубоэлектросварочного агрегата.

В большинстве случаев приходится реконструировать большую часть оборудования, для получения необходимых условий протекания технологического процесса. В некоторых случаях, недостаточную длину формовочного стана компенсируют увеличением числа клеток, которые должны обеспечить устойчивый процесс формообразования трубной заготовки и избежание получения брака. В

процессе модернизации инженеры вынуждены решать различные технологические задачи для обеспечения получения качественной продукции различного типоразмеров. Одной из таких задач является обеспечение устойчивости процесса формоизменения трубной заготовки.

Одним из способов модернизации существующих «классических» формовочных станов является введение в состав комплекса оборудования эджерных (рис.3) и кромкогибочных клеток, внедрение которых отличается малой стоимостью и простотой.

Дополнительные клетки, входящие в данный комплекс оборудования, не только направляют трубную заготовку в последующую клетку, предотвращая тем самым смещение полосы относительно оси формовки, но также позволяет нивелировать распруживание металла после выхода из формовочных клеток. Тем самым предотвращая образование таких дефектов как излом и гофрообразование.



Рис. 3. Эджерная клетка

Особого внимания заслуживает экспериментальная кромкогибочная клетка конструкции Электростальского завода тяжелого машиностроения (ЭЗТМ), которая была изготовлена для трубоэлектросварочного агрегата 203-530 ОАО «Выксунский металлургический завод» (рис.4).



Рис. 4. Кромкогибочная клетка конструкции ЭЗТМ

Предполагаемое использование данной клетки в технологическом процессе в межклетевом пространстве между группами клеток открытого и закрытого типа.

Формовочное оборудование данной конструкции позволяет доформовывать трубную заготовку, избегая тем самым получение таких дефектов как излом, образование крыши. Проведенный анализ применения формовочного инструмента показал, что использование трех дополнительных пар валков в межклетевом пространстве позволяет стабилизировать непрерывный процесс формообразования трубной заготовки. Конструкция рассматриваемой клетки имеет механизм смены положения кромкогибочных роликов в пространстве, что говорит об универсализме данного типа оборудования. Возможно, более продолжительные испытания данной клетки позволили бы сотрудникам ЭЗТМ внедрить конструкции данных клеток в комплекс оборудования существующих ТЭСА различной серийности, что позволило бы увеличить производимый сортамент продукции как по геометрическим размерам, так и по марочному диапазону сталей.

Использование кромкогибочных клеток совместно с классическими формовочными клетями позволило бы существенно сократить парк валкового инструмента, а также исключить перевалки на комплексе оборудования, когда производимый типоразмер не меняется, меняется лишь свойства материала, путем использования регулирования положения валков в кромкогибочной клетке. Наличие данной возможности позволяет корректировать поведение трубной заготовки в очаге деформации не прибегая к замене валкового инструмента на основных клетях формовочного стана.

Тенденции современного рынка трубосварочной продукции обязывает заводы-производители расширять размерный ряд выпускаемой продукции. Потребителю зачастую необходима ограниченная партия труб. Данная ситуация вынуждает искать пути перехода существующего оборудования, предназначенное на массовый выпуск труб, на серийное производство продукции.

В связи с этим с каждым новым днем большую популярность получает технология гибкой формовки под названием *Cage Forming*. Суть данной технологии заключается в симбиозе существующих программных средств управления и использование так называемой универсальной формовки для заданного диапазона размеров. Данная технология позволяет перейти с одного типоразмера на другой в считанные минуты, используя средства управления положением валкового инструмента. Время же перевалки и настройки стана «классической» конструкции занимает более 8 часов на мелкосортных трубных станах и более 48 часов на комплексе оборудования для производства труб среднего и большого диаметров [3].

На сегодняшний день в мире существует три компании, которые реализуют технологию *Cage Forming* в конструкциях трубоэлектросварочных комплексов: *Olimpia'80* (Италия), *NAKATA* (Япония) и *SMS Meer* (Германия).

Рассмотрим пример использования данной технологии каждой из компаний сварных труб.

По анонсам компании *Olimpia'80* технология универсальной формовки с изменяющейся конфигурацией валков открывает новую эру в производстве

Новый стан по технологии *Cage Forming* полностью автоматизирован. Единая компактная система управления положением валкового инструмента состоит из 11-ти последовательных формовочных клеток: 8 из которых представляют собой систему калибров открытого типа, а 3 – закрытая группа клеток, для получения окончательного смыкания краев трубы. Всего же система формовочного инструмента представлена 83 независимыми валками, приводимых в движение от сервомоторов с компьютеризированным управлением, которые быстро и легко приводят систему в оптимальное положение для осуществления формирования трубы (рис.5).

Использование системы автоматизации для позиционирования валкового инструмента отличает станы, предназначенные для серийного производства труб, от станов «классической» конструкции, предназначенные для массового производства.



Рис. 5. Формовочный стан 100-170 Olimpia'80

Рассмотрим систему калибровки валкового инструмента клеток закрытого типа. Геометрия рабочего инструмента этих клеток, очень проста – цилиндры, положение которых изменяется в зависимости от диаметра изготавливаемой трубной заготовки (рис.6).

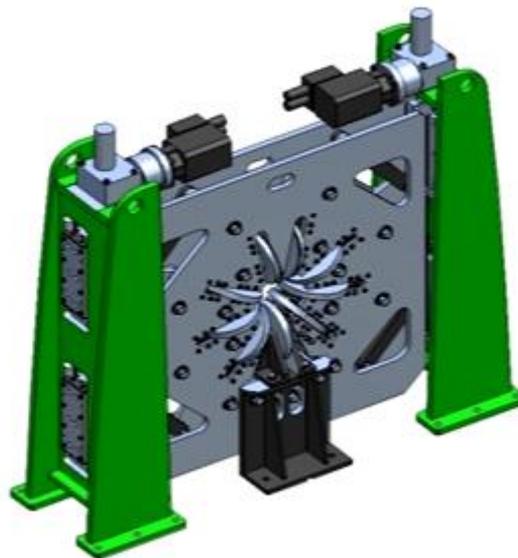


Рис. 6. Система валкового инструмента клетки закрытого типа Olimpia'80

Наибольший же интерес представляет калибровка остальной валковой системы, в зоне действия которой происходит наиболее важная часть процесса формообразования. При детальном рассмотрении работы оборудования очевидно, что универсальная формовка состоит из последовательности операциигиба, образованной очередностью калибров, представленных на рисунке 7.

Процесс формообразования состоит из последовательности гибки полосовой стали начиная с кромок. При этом геометрия рабочего инструмента рассчитана таким образом, чтобы при определенном расположении получать тот радиус и угол загибки, который позволяет получать допустимые деформации для качественной продукции (рис.8).

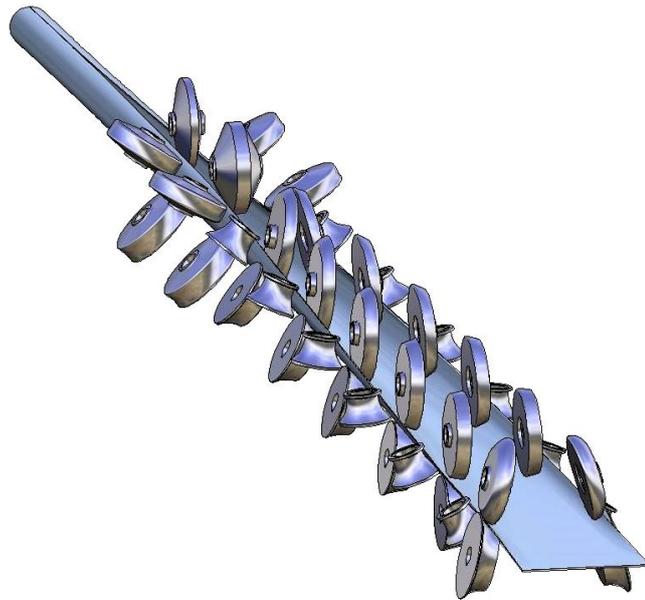


Рис. 7. Система валкового инструмента в клетях открытого типа Olimpia'80

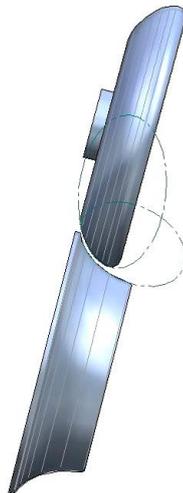


Рис. 8. Калибровка рабочей пары валков

Японская компания NAKATA впервые показала технологию FFX осенью 1999 года во Франции. С тех пор развитие направления гибкой формовки постоянно развивалось и на сегодняшний день технология FFX позволяет производить трубную заготовку методом непрерывной валковой формовки диаметром 609 мм и толщиной стенки до 22 мм.

Современный стан гибкой формовки (технологии Cage Forming) представляет из себя комплекс формовочного оборудования, состоящий из сочетания направляющих, заправляющих, обжимных, кластерных клетей, а также клеть обратного загиба (рис.9) [6]. Перечисленный состав оборудования представляет собой часть формовочного стана, который соответствует только открытой группе клетей. Всего же на данном участке расположены 11 клетей. Длина участка составляет более 21 метра.

Для производства труб широкого сортамента независимо от размеров и свойств материала в технологии FFX используется специальный калибр, который включает в себе все типы кривизны наружной поверхности трубной заготовки в данном сортаменте. Поэтому полосовой металл можно формовать с любой кривизной (рис.10) [6].



Рис. 9. Формовочный стан FFX фирмы NAKATA

В данном случае применяется метод охватывающей гибки: нижние и центральные валки используются для того, чтобы заставить избранный участок полосы охватывать верхний валок со сложным калибром, который может поворачиваться так, чтобы мог выбираться нужный участок его поверхности для контакта с полосой. В результате исключается избыточная деформация, что позволяет формировать тонкостенные трубы при меньших напряжениях [5].

Механизм поддержки валков в формовочных клетях (рис.11) имеет такую конструкцию, которая позволяет иметь свободу позиционирования валков как по вертикали, так и углу. Благодаря этому механизму трубы различных диаметров можно формировать простым изменением положения одного и того же комплекта валкового инструмента.

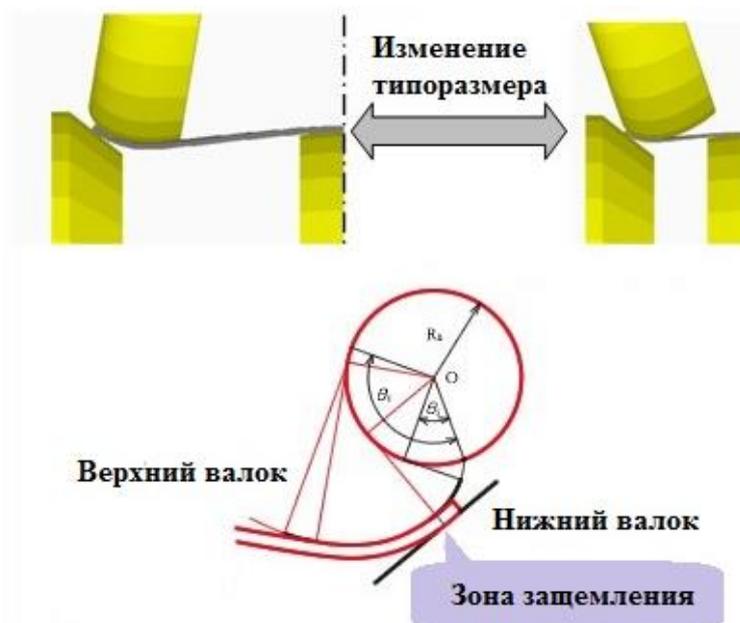


Рис. 10. Общее использование валков с стане FFX

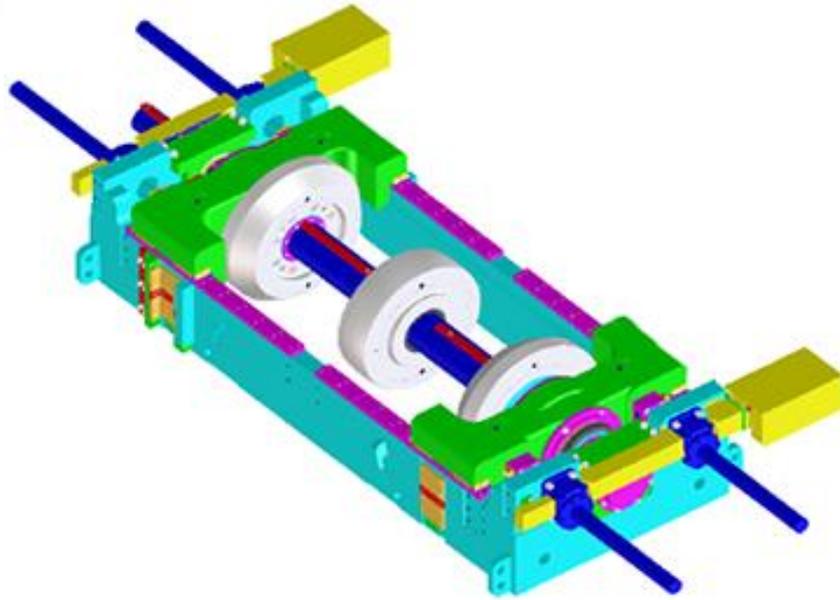


Рис. 11. Механизм поддержки валков в формовочном стане FFX

Трубосварочные комплексы SMS Meer имеют целый ряд уникальных особенностей в области настройки оборудования, способствующих постоянному увеличению выхода годной продукции и повышению качества. Сюда относятся крайне жесткие клетки URD[®] для точного производства труб, система быстрой автоматической установки валков CSS-Quicksetting[®], обеспечивающая максимально возможно быстрый переход на производство труб других размеров, и система быстрой перевалки валков, обеспечивающая сокращение вспомогательного времени и времени переоснастки. Оборудование гибкой формовки компании SMS Meer отличается от всех другим конструктивным решением отсутствием так таковых формовочных клеток.

В оборудование линейной формовки трубная заготовка поступает предварительно сформированной. После чего полоса постепенно сворачивается в цилиндр. Это осуществляется двумя роликовыми направляющими, которые попарно согласованы напротив друг друга. Положение валкового инструмента может изменяться как по горизонтали, так и по вертикали с возможностью поворота в радиальном направлении. Процесс формовки трубной заготовки осуществляется также и нижними валками, положение которых меняется по вертикали.

При высоком значении отношения диаметра к толщине стенки формируемой трубной заготовки стабильность технологического процесса достигается путем ввода в очаг деформации дополнительного валкового инструмента. Смена комплекса валкового инструмента осуществляется благодаря системе быстрой замены кассеты - Quicksetting, предназначенной для автоматического позиционирования валков в пространстве оборудования линейной формовки.

Процесс сворачивания трубной заготовки происходит непрерывной на протяжении всей длины очага деформации с помощью роликов. Форма геометрии данного валкового инструмента простая и представляем из себя цилиндр, положение которого может изменяться в пространстве (рис.12).

Однако формовочные станы компании SMS Meer по технологии Cage Forming выделяются наличием в составе оборудования классических клеток, конструкция которых претерпела некоторые изменения - жесткие клетки URD (рис. 13).

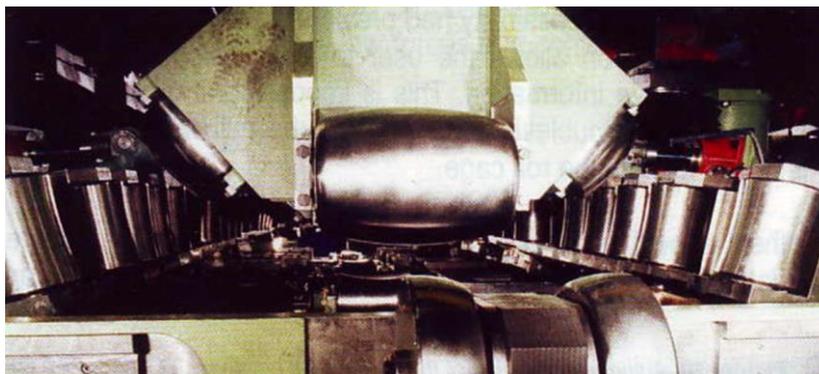


Рис. 12. Оборудование гибкой формовки SMS Meer

Конструкция этих клетей представляет из себя – закрытую раму из пластины вместо стержневой, что позволяет равномерно распределять силы прокатки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Для сравнения, обычные классические клетки воспринимают силы прокатки в основном только в вертикальном направлении, благодаря своей конструкции. Клетки повышенной жесткости URD являются идеальными для точного изготовления круглых труб и полых профилей из марок сталей повышенного класса прочности.

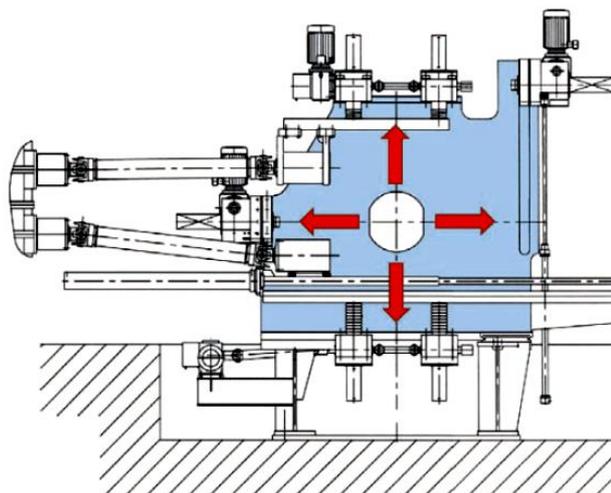


Рис. 13. Конструкция жесткой клетки URD

В результате анализа конструкций существующих формовочных станов можно сделать вывод о том, что при создании современного оборудования обеспечение устойчивого процесса формовки в основном достигается разработкой нового рабочего инструмента. Конструкции же формовочных клетей, а также конструкции узлов осей валков, не претерпевают каких-либо серьезных изменений. Однако способность воспринимать нагрузку в процессе формообразования и влиять на устойчивость процесса во многом зависит именно от конструкции узлов и клетей. [2]

В первую очередь это касается трубозлектросварочных станов для производства труб среднего и большого диаметра, где это влияние особенно заметно.

В данной работе с помощью системы параметрического проектирования Autodesk Inventor Professional 2014 разработаны физические модели и проведен анализ нагружения валковых систем клетей различных типов. Моделировались узлы валков клетей, предназначенных для производства нефтегазопроводных труб, с наружным диаметром 273 мм, толщиной стенки 7мм.

Рассмотрим вначале нагружение традиционной клетки с открытым типом калибра.

Данная клеть является первой в линии стана и предназначена для формовки магистральных труб 273x7.

В данном случае нагрузку при формовке воспринимают оси, на которых расположены рабочие валки.

Расчет проводился в несколько этапов: первый - анализ нагружения только осей клетки, на которые устанавливают рабочий инструмент (рис.14).

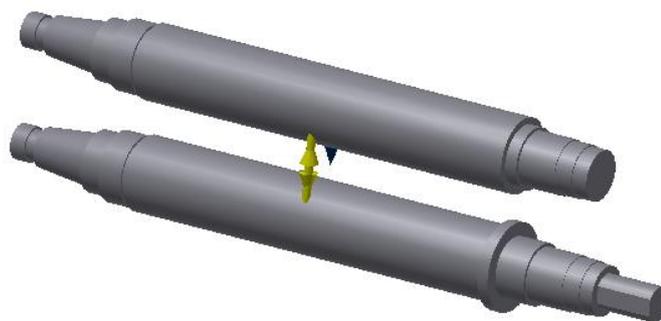


Рис. 14. Схема нагружения осей валков клетки с открытым типом калибра

В качестве исходных данных для анализа эксплуатационных характеристик взяты данные полученные в результате исследований комплекса оборудования трубоэлектросварочного агрегата 203-530, проводимые ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» [8]. Силу, действующей на данную систему, прикладываем таким образом: длина действия по оси валов равна 900 мм (средняя расчетная величина длины контактов валков с осями по длине).

Анализ производился с помощью Autodesk Inventor Professional 2014, который включает в себя модуль по анализу напряжений. Так же было сделано допущение, что нагрузку можно считать статической, так как процесс формообразования ленты непрерывный (при непрерывном процессе нагрузки практически не изменяются в продолжительный период времени).

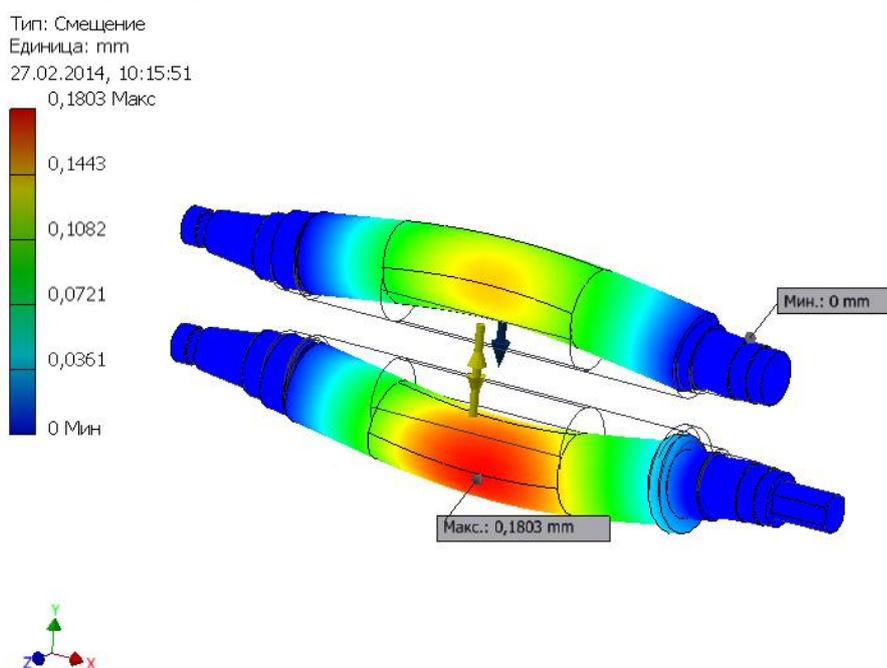


Рис. 15. Смещения в осях валков клетки с открытым типом калибра

Исходя из результата анализа, изображенного на рисунке 15, максимальное смещение – 0,18 мм, то есть смещения, возникающие в одной формовочной клетке достигают 0,18 мм, что соизмеримо с величиной допусков. Не следует также забывать, что формовочный стан состоит из нескольких клеток, в каждой из которых может

возникнуть смещение, суммарное воздействие которых на процесс формовки трудно предсказать, что может повлиять на процесс равномерности очага деформации трубной заготовки. Таким образом, деформация осей валков нарушает устойчивость процесса формообразования трубной заготовки, что приводит к изменению калибра и получению брака по форме, что в конечном итоге отражается на качестве сварной кромки в сварочной клети трубоэлектросварочного агрегата.

Расчеты показывают, что в рассматриваемых клетях целесообразно использовать укороченные оси, которые позволят обеспечить минимальный прогиб.

Однако анализ одних осей не дает полного пояснения влияния конструкции на качество получаемой продукции, поэтому на втором этапе проведен анализ нагружения осей вместе с калиброванными валками. В данном случае учитывалась масса рабочего инструмента.

При анализе осей вместе с валками при тех же условиях, что и в предыдущем случае, получаем уточненную картину смещений (рис.16).

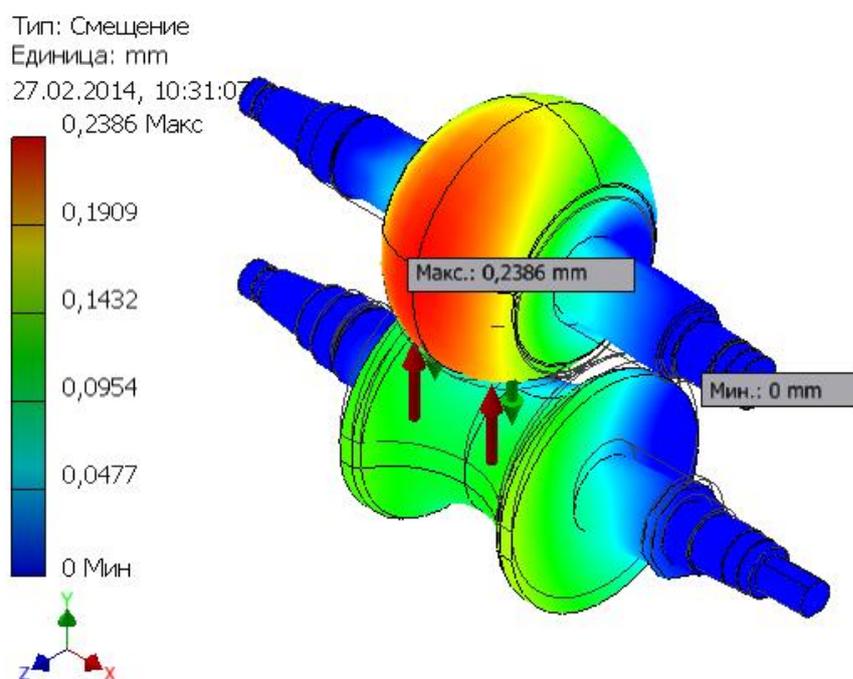


Рис. 16. Смещения в валковой системе клети с открытым типом калибра

В данном случае нагрузка приложена на участке, на котором происходит формовка трубной заготовки.

Максимальное смещение, полученное в результате расчета, будет составлять около 0,24 мм, что также сопоставимо с величиной допусков на размеры готовой трубы ($\pm 0,5$ мм).

На третьем этапе расчетов было решено учесть фактическое положение полосы в калибре при формовке труб. Дело в том, что трубоэлектросварочные агрегаты предназначены для производства изделий широкого сортамента. Рассматриваемый комплекс оборудования имеет возможность производить трубы в пределах от 203 до 530 мм по диаметру с толщиной стенки от 2 до 10 мм. Для выпуска продукции каждого типоразмера производят комплект валков, каждый из которых имеет свои геометрические характеристики, в зависимости от положения в формовочном стане. При этом нагрузка, прикладываемая в процессе деформирования полосы, будет различной. Также будут различными напряжения и смещения в рассматриваемой системе.

В работе [7], посвященной моделированию процесса формовки сварных труб показано, что, рассматривая формовочный стан в целом, необходимо учитывать смещения, возникающие в валковой системе каждой из клеток, на процесс формовки в других клетях. Из расчетов видно, что точка приложения сил при формовке будет смещена по оси z в направлении, противоположном движению полосы, следовательно, смещение последней возможно не только вдоль направления приложения нагрузки. Действительно, произойдет смещение валков как по оси z (рис.17), так и по осям x (рис.18) и y (рис.19).

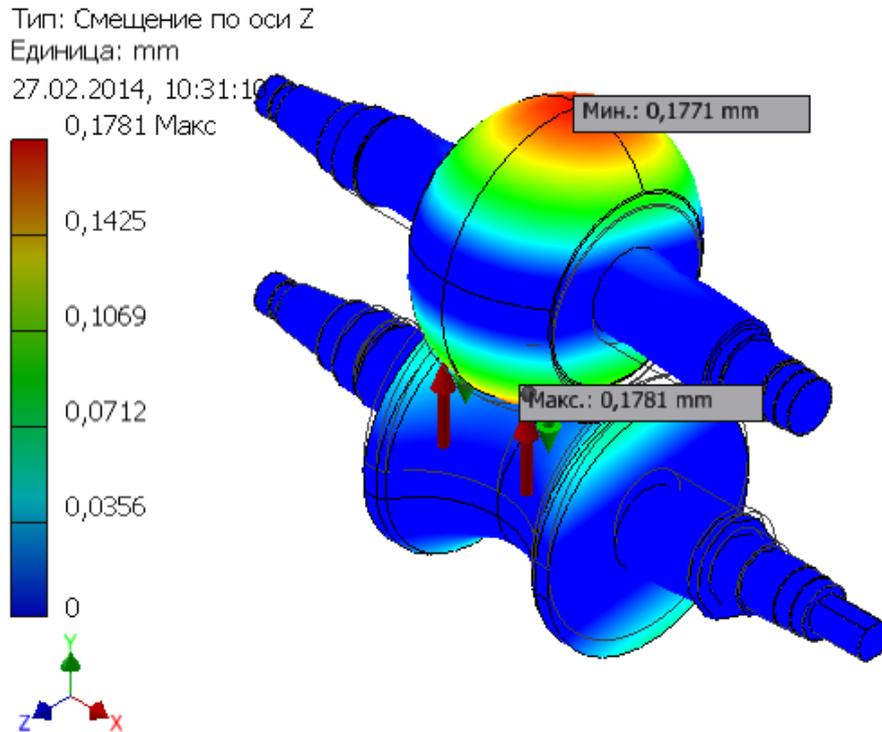


Рис. 17. Смещения вдоль оси z в валковой системе клетки с открытым типом калибра

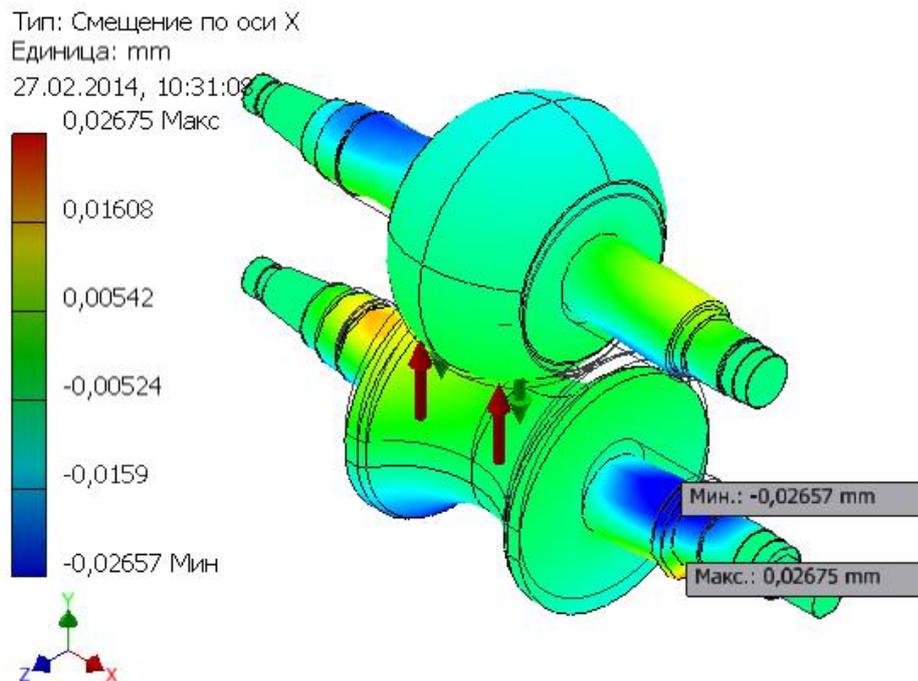


Рис. 18. Смещения вдоль оси x в валковой системе клетки с открытым типом калибра

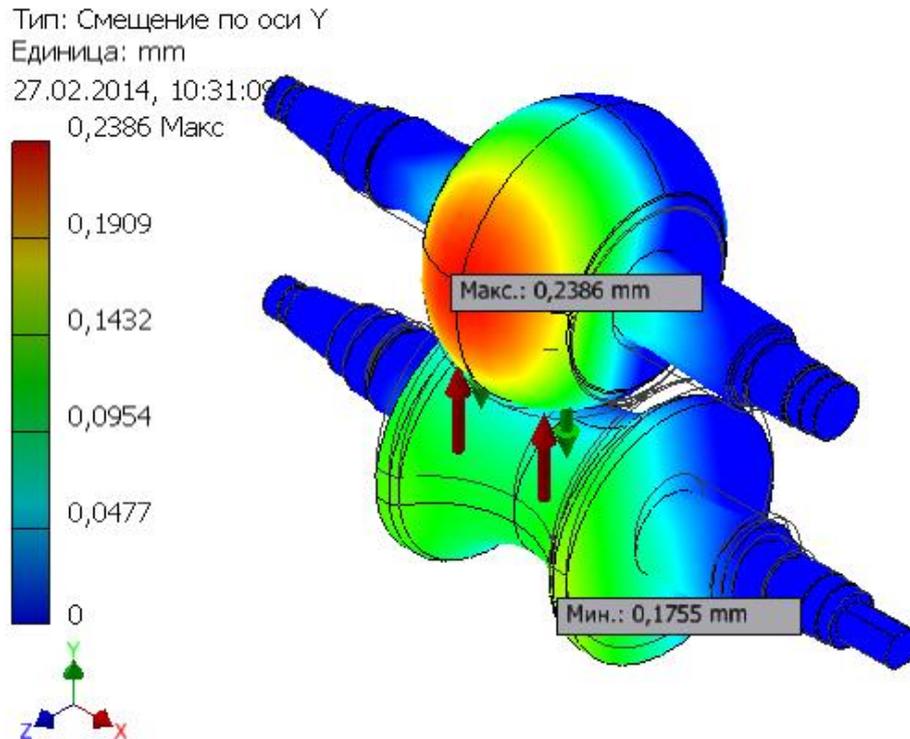


Рис. 19. Смещения вдоль оси у в валковой системе клетки с открытым типом калибра
 Таким образом, деформация валковой системы в предыдущей клетке приводит к нарушению контакта полосы с валками, образующим калибр, в последующей. Это видно из модели очага формовки на рисунке 20.

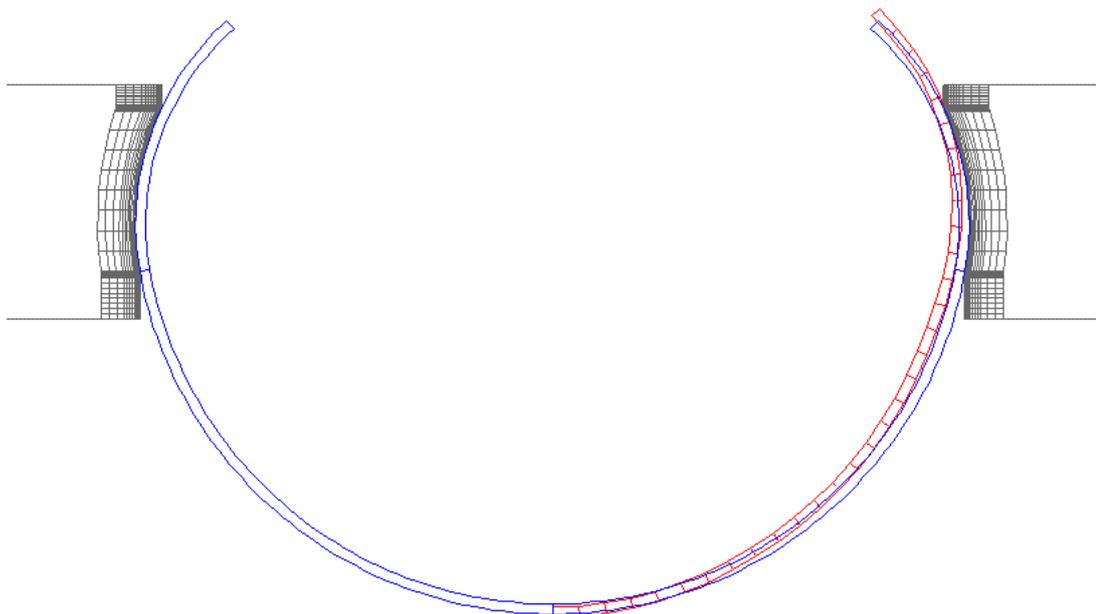


Рис. 20. Нарушение контакта полосы с формовочными валками

Известно, что сворачивание трубной заготовки должно представлять собой монотонный очаг. Это может быть достигнуто только при последовательной формовке, правильно выбранной калибровке и правильно определенной длине стана, которая в свою очередь должна быть минимально возможной. В краях полосы при ее формовке в цилиндрическую заготовку возникают одинаковые минимальные

удлинения по всей длине стана при соблюдении *естественных* форм формовочных калибров и минимальной длины формовочного участка.

Однако до настоящего времени не учитывалась деформация валковой системы в каждой клетке. В результате недостаточной жесткости валковой системы не будет создан монотонный очаг деформации (что является одним из критериев устойчивого процесса формовки). Из-за низкой точности формовки не будет достигнуто требуемое качество производимых труб.

На четвертом этапе для сравнения жесткости клеток различной конструкции было принято решение провести анализ нагружения валковой системы клетки гибкой формовки.

Данная клетка является первой в линии формовочного стана и предназначена для производства всех типоразмеров труб в пределах от 203 до 530 мм по диаметру с толщиной стенки от 4,5 до 15,9 мм. В проведенном анализе нагружения расположение валков и приложенные усилия соответствуют процессу формовки магистральных труб 273x7.

В результате расчета получены следующие данные по смещениям (рис. 21,22,23,24).

Максимальное смещение в одной клетке, полученное в результате расчета, будет составлять около 0,12 мм, что сопоставимо с величиной допусков на размеры готовой трубы ($\pm 0,5$ мм).

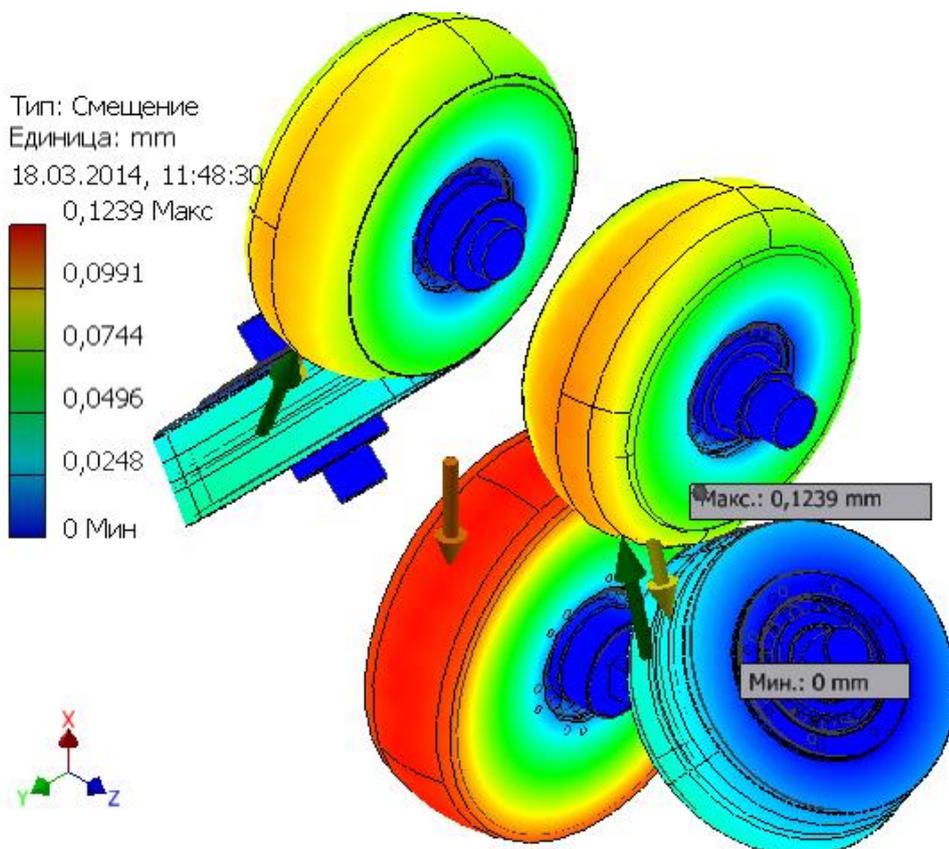


Рис. 21. Смещения в валковой системе клетки гибкой формовки труб

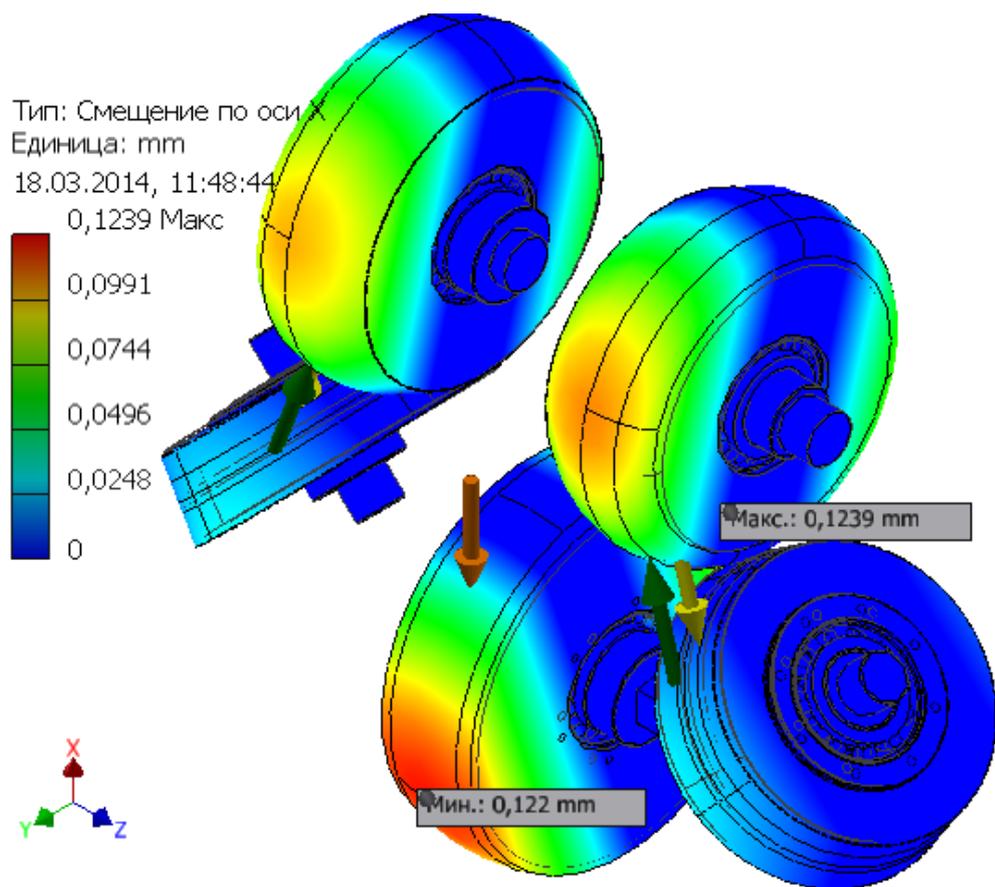


Рис. 22. Смещение вдоль оси x в валковой системе клетки гибкой формовки труб

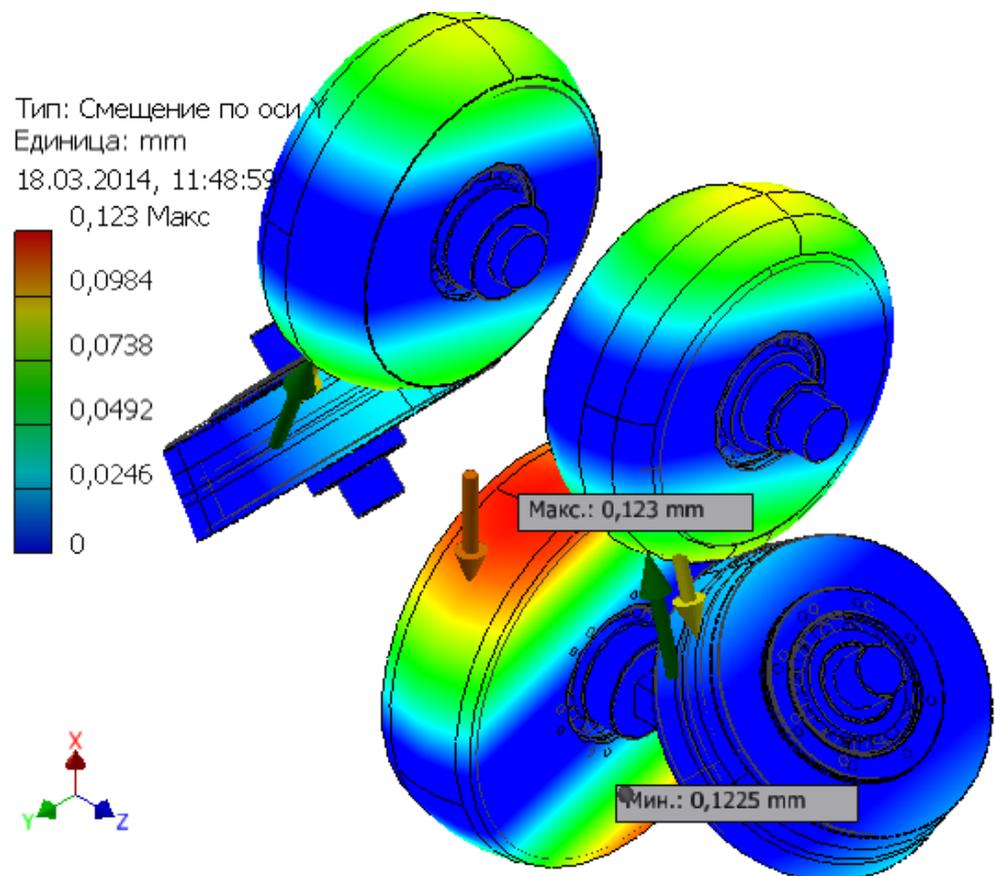


Рис. 23. Смещение вдоль оси y в валковой системе клетки гибкой формовки труб

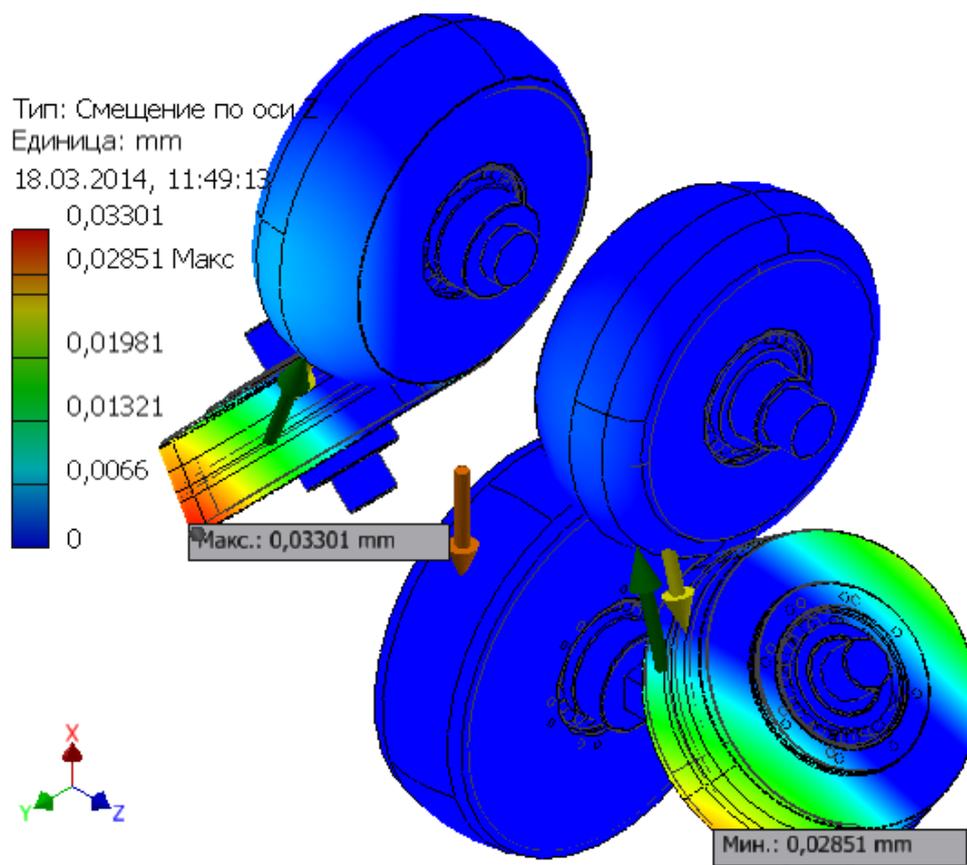


Рис. 24. Смещение вдоль оси z в валковой системе клетки гибкой формовки труб

В результате исследовательской работы можно сделать следующие выводы:

1. Максимальное смещение в валковой системе традиционной клетки с открытым типом калибра при формовке магистральной трубы 273x7 составляет 0,24 мм, что сопоставимо с величиной допусков на размеры готовой трубы ($\pm 0,5$ мм).

2. Максимальное смещение в валковой системе гибкой клетки при формовке магистральной трубы 273x7 составляет 0,12 мм, что также сопоставимо с величиной допусков на размеры готовой трубы ($\pm 0,5$ мм).

3. До настоящего времени ни в одной методике по расчету технологического процесса не учитывается деформация валковой системы. Однако при недостаточной жесткости валковых систем нарушается устойчивость процесса формообразования трубной заготовки, что приводит к получению брака по форме, а в конечном итоге отражается на качестве сварной кромки в сварочной клетке трубоэлектросварочного агрегата, что необходимо учитывать при проектировании нового оборудования.

4. Максимальное смещение валковой системы в клетях гибкой формовки меньше, чем в традиционных клетях, что является еще одним значимым фактором, говорящим о целесообразности перехода заводов на производство труб на станках гибкой формовки (Cage Forming).

5. При создании нового оборудования необходимо использовать укороченные оси валковых систем, которые будут обеспечивать минимальный прогиб узла вала, при разработке калибров учитывать их перемещение от деформирующих сил при формовке.

Литература

1. Иконников Д.А. Реконструкция стана для прямошовной валковой формовки. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э

Баумана. – № гос. регистрации 0321300796. – URL:studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=855 (дата обращения: 17.12.2013). – Загл. с экрана.

2. Соколова О.В., Лепестов А.Е., Формообразование трубных профилей. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №7, июль 2010.

3. Соколова О.В., Лепестов А.Е., Прогнозирование качества прямошовных сварных труб. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №6, июнь 2011.

4. Матвеев Ю.М., Теоретические основы производства сварных труб, Москва «Металлургия» 1967 г., - 170 с.

5. Okamoto Atsumu, Wang Feizhou Method for roll forming steel pipes, and equipment for same. // United States Patent 6212925. - 2001.

6. Руководство по технической эксплуатации стана предварительной формовки FFX Nakata.

7. Лепестов А.Е., Скрипкин А.Ю., Моделирование процесса валковой формовки сварных труб и его практическое применение, г. Выкса, Пятая научно-практическая конференция молодых специалистов ОМК, тезисы докладов, 10-12 октября 2012г.

8. В.Бедняков, Л.Б. Захаровский, В.Н. Баранов и другие, Отчет об исследовании состояния действующего оборудования головной линии ТЭСА 203-530 в ТЭСЦ№3 ОАО «ВМЗ», Электросталь, 2004г.