1561115

На правах рукописи

ГЛЕБОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОВКИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ГЛАДКИМИ ВАЛКАМИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА И КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТА

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1998

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Синицкий В.М.
Научный консультант - кандидат технических наук
Чехин А.Ф.

Официальные оппоненты: засл. деятель науки и техники России,
доктор технических наук,
профессор Осадчий В.Я.
кандидат технических наук,
доцент Ильин Л.Н.

Ведущее предприятие - ОАО Московский трубный завод ФИЛИТ.

Защита диссертации состоится "30" декабря 1998 г. в 11 часов на заседании диссертационного Совета К 053.15.13 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

ом экземпляре, заверенный печатью,

ться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.

9 1998 г.

1561115

о

Шубин И.Н.

м 1,0 п.л. Заказ № 203 Тираж 100 экз.
ТУ им. Н.Э. Баумана

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1561115
Глебов А.А. Исследование

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время производство стальных труб в мире непрерывно возрастает. Сварные трубы в общем количестве составляют более 60%. Электросварные прямошовные трубы по многим качественным показателям не уступают бесшовным. Увеличение качества электросварных прямошовных труб и снижение себестоимости связано с созданием оборудования с возможностью быстрой переналадки на следующий типоразмер выпускаемых труб.

Работа направлена на решение важной прикладной задачи разработки нового технологического процесса формовки трубной заготовки гладкими валками, характеризующегося высокой производительностью и степенью автоматизации.

Важнейшим процессом в производстве сварных труб является формовка трубной заготовки. Главными критериями качества формовки является точность формы трубной заготовки, отсутствие пластических продольных деформаций в кромках, обеспечение стабильности процесса сварки, уменьшенный размер наружного и внутреннего грата в сварной трубе. Поэтому требуется разработать метод расчета основных технологических параметров процесса формовки гладкими валками.

Анализ напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки в процессе формовки требуется произвести на основе решения упруго-пластической задачи с использованием метода конечных элементов.

Использование технологического инструмента с простой образующей (гладких валков) позволяет значительно уменьшить затраты при изготовлении валков. Таким образом, формовка гладкими валками с точки зрения производства позволяет: повысить фонд рабочего времени трубоэлектросварочного агрегата; обеспечить качество продукции; снизить производственные затраты; повысить степень автоматизации.

На основе проведенного исследования разрабатываются рекомендации по совершенствованию процесса формовки гладкими валками и предлагается новая конструкция инструмента стана, позволяющая снизить производственные затраты при перенастройке стана.

Цель работы. Разработка технологических основ проектирования нового оборудования для осуществления процесса формовки трубной заготовки гладкими валками и разработка методов настройки действующих станов на разные типоразмеры труб с сокращением времени на перенастройку стана и расхода материала, идущего на настроечные работы с целью повышения производительности, обеспечения гибкости и экономической эффективности производства прямошовных электросварных труб на базе Московского трубного завода.

156-1115
МГТУ
им.Н.Э.Баумана

Поставленная задача достигается решением упруго-пластической задачи формовки полосы для определения напряженно-деформированного состояния металла методом конечных элементов, теоретическим анализом точности формы трубной заготовки при постепенном сворачивании в клетях трубоформовочного стана и экспериментальным исследованием процесса формовки в продольном и поперечном направлениях.

Методы исследования базируются на основных теоремах механики, использовании современных численных методов (МКЭ) и технологии электронных таблиц (EXCEL, SUPERCALC), математическом аппарате теории упругости и пластичности, использовании специальных измерительных устройств, проверке полученных теоретических результатов на физической модели с определением степени их достаточной сходимости.

Научную новизну и ценность составляет метод расчета основных параметров формовки трубной заготовки гладкими валками с учетом размеров и материала трубы и конструкции универсального формовочного стана.

Определены параметры напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки на основе решения плоской упруго-пластической задачи с использованием метода конечных элементов. Выработан подход к оценке допустимой величины подгибки трубной заготовки в клети и влияние ее на выходные параметры точности формы трубной заготовки.

На основе анализа параметров перенастройки инструмента предложен подход для определения места приложения силы формовки и новая конструкция инструмента, позволяющая снизить затраты времени и расхода материала при настроечных работах на следующий типоразмер труб

Практическая ценность заключается в определении основных технологических и конструктивных параметров универсального формовочного стана в зависимости от размеров и материала готовой электросварной прямошовной трубы.

На основе разработанного метода расчета предложены рекомендации по совершенствованию процесса формовки трубной заготовки гладкими валками и их практическое внедрение на действующем оборудовании. Разработан метод настройки действующих станов на разные типоразмеры труб с сокращением времени на перенастройку стана и расхода материала, идущего на настроечные работы.

Реализация работы. Метод определения основных параметров

процесса формовки и результаты работы приняты для практического использования на ОАО Московский трубной завод ФИЛИТ. Внедрение предлагаемой теории в практику работы конструкторских бюро по проектированию трубопрокатного оборудования (ВНИИМЕТМАШ, г. Москва) позволит повысить качество проектирования, изготовления и эксплуатации новых универсальных формовочных станов в линии трубоэлектросварочного агрегата на базе использования гладких валков в качестве рабочего инструмента.

Апробация работы. Основное содержание работы, а также ее отдельные положения доложены и обсуждались:

- на IV Научной сессии Совета РАН "Проблемы повышения эффективности технологических процессов в заготовительных производствах" г. Москва (16-17 апреля 1998 г.);
- на научных семинарах кафедры "Металлургические машины и агрегаты" МГТУ им. Н.Э. Баумана (1997 г., 1998 г.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 2 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, приложения. Изложена на 190 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков, 15 таблиц, список литературы из 87 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована научная и практическая актуальность работы, ее цель, научная новизна, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе изучены перспективные тенденции в мировой практике последних лет в области технологии и оборудования для формовки трубной заготовки. Рассмотрены основные существующие способы производства прямошовных электросварных труб. Современные ТЭСА содержат в своем составе: устройства подачи ленты, трубоформовочную группу клетей, сварочный узел, линию калибровки и редуцирования, устройства приема готовой трубы.

Вопросы формовки труб и профилей рассмотрены в работах Б.Д. Жуковского, Ю.М. Матвеева, Е.А. Попова, И.С. Тришевского, В.А. Рымова, Г.И. Гуляева, М.В. Сторожева, М.Е. Докторова и др.

Опыт эксплуатации трубоформовочных станов с валковым инструментом показал наличие пластической продольной деформации кромок полосы.

На современных трубоэлектросварочных агрегатах производство имеет значительные издержки из-за потерь времени, уходящего на

перенастройку оборудования. Она состоит из замены валков одного типоразмера на другой. Решение проблемы заключается в создании универсальных клетей, не требующих замены валкового инструмента на каждый размер труб.

Важным преимуществом способа формовки гладкими валками является значительное уменьшение длины стана. Увеличение количества гладких валков в очаге формовки ведет к снижению величины пружинения кромок и уменьшению энергозатрат в процессе формовки полосы.

Работа посвящена исследованию и созданию технологии формовки гладкими валками заготовки для прямошовных труб, а также оборудования для его осуществления. Для получения качественной трубы выбраны критерии: точность геометрической формы трубной заготовки перед сваркой, отсутствие продольных пластических деформаций в кромках полосы, влияющих на качество сварного шва, оптимальные энергосиловые параметры процесса, простота конструкции оборудования и быстрая его перенастройка на следующий типоразмер труб.

Начавшееся внедрение формовочных станов с гладкими валками требует исследования процесса формовки с целью разработки методов расчета основных технологических и конструктивных параметров этих станов. Сформулированы критерии для создания новой технологии формовки гладкими валками и поставлены основные задачи исследований.

Во второй главе проанализированы существующие теоретические исследования процесса формовки трубной заготовки.

Недостатком применяемой для расчета параметров напряженно-деформированного состояния методики является необходимость задания поля скоростей перемещений. Фактически этот шаг в процессе решения определяет достоверность получаемых результатов, а напряженно-деформированное состояние описывает поведение металла при заданном законе движения полосы. При расчете нельзя варьировать условия внешнего нагружения и рассматривать распределение деформаций и напряжений по сечению металла полосы в продольном и поперечном направлениях.

Неизвестные функции в уравнениях соответствия начальных и текущих координат точек описывают геометрию листового материала в результате формоизменения. По решению задачи после деформации определяют форму листа, соответствующую заранее заданным перемещениям материальных точек. Использование в качестве неизвестной функции угла наклона плоского сечения по длине зоны внеконтактной деформации приводит к искажению реальной картины напряжений и деформаций по сечению полосы в силу возникающих в этом случае допущений.

Проведен сравнительный анализ нескольких численных методов расчета параметров напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки и выбран в качестве рабочего метод конечных

элементов. Анализ напряженно- деформированного состояния реальных конструкций возможен с использованием численных методов, ориентированных на современные ЭВМ. Для расчета используют следующие численные методы: метод конечных разностей, метод граничных элементов и метод конечных элементов.

Метод конечных элементов (МКЭ) применим для определения параметров напряженно-деформированного состояния для тел любой формы в упруго-пластической области. В силу своей универсальности МКЭ имеет преимущества перед аналитическими и различными численными методами расчетов.

Особенностью упруго-пластической задачи является нелинейность зависимости между интенсивностью напряжений и деформаций. Для решения принимается метод упругих решений по А.А. Ильюшину, являющийся разновидностью метода последовательных приближений. Суть его состоит в том, что выражения компонент напряжений через пластические деформации получаются из аналогичных зависимостей теории упругости заменой постоянных упругих характеристик переменными.

Для решения упруго-пластической задачи методом конечных элементов применяют способ минимизации интегральной величины, связанной с работой напряжений и внешней приложенной нагрузки. В случае постановки граничных условий в перемещениях необходимо минимизировать потенциальную энергию системы. Если на границе задано силовое воздействие, то минимизируют дополнительную работу системы.

Для определения напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки в продольном и поперечном направлениях при формовке предложен алгоритм решения плоской упруго-пластической задачи с использованием метода конечных элементов.

В третьей главе с использованием метода конечных элементов для определения параметров напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки в продольном и поперечном направлениях формовки гладкими валками получено решение математической модели процесса как плоской упруго-пластической задачи.

При постановке задачи приняты следующие допущения:

1. Реализуется модель плоского напряженного состояния (плоское деформированное и плоское напряженное состояния).

2. Материал трубной заготовки подчиняется условию пластичности Губера-Мизеса. Любая элементарная частица металлического тела переходит из упругого в пластическое состояние при достижении интенсивностью напряжений величины, равной напряжению текучести при линейном пластическом напряженном состоянии, соответствующему температурно-скоростным условиям деформирования и степени деформации.

3. Скорость деформации не влияет на свойства материала трубной

заготовки.

4. Свойства материала трубной заготовки описывается зависимостью $\sigma_i(\varepsilon_i)$.

5. Условия деформации изотермические. Разогрев материала трубной заготовки в результате деформации не рассматривается.

6. Объемные силы не учитываются.

Для расчета использован пакет прикладных программ "МЕГА" с реализацией метода конечных элементов (разработан во ВНИИМЕТМАШе).

Разработка технологического процесса требует проведения ряда исследований и расчета основных параметров процесса: технологической силы формовки; размеров и формы гладких валков; диапазона возможной регулировки; ориентации валков в пространстве.

Положение гладких валков в формовочных клетях (приложения силы формовки к полосе) определяли на основе моделирования с использованием метода конечных элементов. Расчет проводили для поперечного сечения каждого из участков, на которые разбивался очаг формовки трубной заготовки, с соответствующими центральными углами формовки. При моделировании сила P_j прикладывалось в областях поперечного сечения полосы, характеризуемых разными направлениями приложения нагрузки.

Силу P_j изменяли до того момента, пока перемещение кромок не достигало установленного значения u для текущего центрального угла формовки. В результате расчета получены зависимости силы формовки от угла приложения в формовочных клетях $P_j(\psi_j)$ для труб определенных размеров. Расчет проводили для процесса формовки трубы диаметром 10; 20; 30; 40 мм с толщиной стенки 1 и 1,2 мм из низкоуглеродистой стали.

Анализ результатов расчета позволил выявить основные закономерности изменения силы формовки в зависимости от угла приложения (угол наклона образующей рабочего инструмента соответствует углу направления действия силы формовки).

Для оценки характера изменения силы формовки введено понятие "жесткости свертки" поперечного сечения полосы. "Жесткость свертки" поперечного сечения трубной заготовки зависит от распределения растягивающих и сжимающих напряжений σ_x, σ_y в ее материале.

Максимальные растягивающие и сжимающие напряжения возникают в зоне осевого сечения трубной заготовки. Растягивающие напряжения располагаются по наружному контуру трубной заготовки, а сжимающие по внутреннему.

Изменение формы сечения трубной заготовки происходит не по окружности, а по кривой переменной кривизны. Радиус профиля трубной заготовки отличается от заданного в калибре и является переменным в

каждой точке $R_i(\alpha)$. Это объясняется износом валков, пружинением сворачиваемой полосы, завышенными допусками на геометрические размеры исходной заготовки, особенностями калибровки инструмента.

Зависимость текущего радиуса формовки от угловой координаты α определяется величиной подгибки трубной заготовки в формовочной клети. Это подтверждается решением плоской упруго-пластической задачи по расчету напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов.

Рассчитаны допустимые величины подгибки трубной заготовки в формовочных клетях по условию точности геометрической формы трубной заготовки. Для оценки отклонения формы поперечного сечения трубной заготовки от окружности введен коэффициент точности формы

$$K_{fi} = \frac{\left(R_{maxi} - R_{mini}\right)}{R_i}, \qquad (1)$$

где R_i - текущий радиус трубной заготовки, определяемый калибром i-той клети, мм;

R_{maxi} , R_{mini} - максимальный и минимальный радиус трубной заготовки в i-той клети, мм;

Угол φ_k подгибки кромок в кромкогибочной клети определяется из конструктивных соображений и составляет 0,7-0,9 рад. Ширину центральной части трубной заготовки вычисляют по формуле

$$B_{si} = B_i - 2R_k\varphi_k, \qquad (2)$$

где B_{si} - ширина центральной части трубной заготовки, мм;

B_i - ширина исходной заготовки, мм;

$\varphi_k = 0{,}7 - 0{,}9$ - угол подгибки кромок, рад.

Функцию $R_i(\alpha)$ для формовочных клетей с гладкими валками определяют по результатам эксперимента. Функция $R(\alpha)$ с учетом симметрии трубной заготовки аппроксимируется с достаточной точностью выражением

$$R_i(\alpha) = R_{i-1} + \delta R_i + \delta R_i \sin\left(\frac{\pi}{\psi_i}\alpha\right), \qquad (3)$$

где R_{i-1} - радиус трубной заготовки в предыдущей клети, определяемый калибровкой, мм;

ψ_i - угол наклона боковых холостых валков, рад;

α - текущий угол, рад;

δR_i - изменение радиуса трубной заготовки в i-той клети, мм.

Для расчета идеального профиля поперечного сечения трубной заготовки по клетям и наложения на него экспериментально полученных значений создана программа расчета в электронных таблицах. По

исходным данным осуществляется построение идеального профиля поперечного сечения. На идеальный контур накладываются результаты измерений, вводимые в диалоговом режиме последовательно по углу α.

Расчет точности поперечного сечения трубной заготовки по программе произведен последовательно с первой клети универсального формовочного стана по зависимостям, предложенным в работе. В качестве начальных условий задаются (по клетям): радиус формовки, угол приложения силы, диаметр и толщина стенки готовой трубы, угол подгибки кромок, изменение радиусов подгибки полосы. В качестве результатов расчета выводятся профили поперечных сечений, коэффициент точности формы K_{fi} трубной заготовки по клетям, количество формовочных клетей.

В случае превышения коэффициентом формы K_{fi} заданной величины (0,2) изменяется величина δR_i подгибки трубной заготовки по клетям, количество клетей, корректируются другие исходные данные, а расчет повторяется.

В процессе решения задачи изменяются следующие технологические параметры:

1). Величина изменения радиуса трубной заготовки в клети δR_i.

2). Положение гладких валков в пространстве по клетям.

3). Параметры гладких валков (размеры и форма).

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния материала трубной произведен с изменением толщины стенки сворачиваемой полосы. При неизменной величине подгибки трубной заготовки проведено сравнение компонент напряжений и деформаций при увеличении толщины стенки. Например, для трубы диаметром 40 мм при увеличении толщины стенки с 1 до 2 мм максимальная величина σ_x выросла на 80%, а σ_y на 85%.

С увеличением угла сворачивания трубной заготовки в клети возрастают значения растягивающих и сжимающих напряжений и деформаций и увеличивается область пластического изгиба.

При моделировании процесса нагружения трубной заготовки при разных центральных углах формовки определены характеристики зон упругой и пластической деформации. В результате последовательного расчета напряженно-деформированного состояния трубной заготовки в формовочном клетях установлено распределение сжимающих и растягивающих напряжений и деформаций в материале поперечного сечения полосы. Напряжения и деформации в полосе являются функцией радиуса и угла, то есть функцией двух переменных.

Результаты теоретического расчета напряженно-деформированного состояния трубной заготовки проверены экспериментально на полосе соответствующих размеров и материала.

Для величины продольной деформации кромок трубной заготовки выведена формула

$$\varepsilon_z = \frac{\sqrt{1+\left(\frac{df_1}{dz}\right)^2+\left(\frac{df_2}{dz}\right)^2}}{\sqrt{1+\left(\frac{dq_2}{dz}\right)^2}} - 1 \qquad (4)$$

Для расчета напряженно-деформированного состояния трубной заготовки в продольном направлении построена модель, позволяющая изменять следующие параметры:

1). расстояние между клетями;

2). длины зон распружинивания, контактной и внеконтактной деформаций;

3). параметры инструмента (форма и размер гладких валков);

4). геометрия контакта полосы с гладкими валками.

Расчет производится для труб диаметром 10-40 мм с толщиной стенки 1,0-2,5 мм.

Основной задачей расчета является определение функции $\varphi = \varphi(z, \sigma, s, \delta R)$, так как рассматриваемые функции $f_1(\varphi), f_2(\varphi), q_2(z)$ зависят от распределения центрального угла формовки в межклетьевом интервале.

В зависимости от протяженности межклетьевого интервала даны возможные варианты распределения участка подгибки трубной заготовки, зон распружинивания и стабилизации кромок.

Сворачиваемая полоса в продольном направлении упруго-пластически деформируется. В наружных и внутренних областях трубной заготовки присутствуют зоны продольных растягивающих и сжимающих деформаций. Наличие продольного изгиба полосы приводит к повороту перпендикулярных к оси формовки сечений на некоторый угол θ. Знакопеременный изгиб трубной заготовки в продольном направлении при пластических деформациях ведет к образованию гофров на кромках и затрудняет процесс сварки.

Анализ параметров напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки проведен с изменением толщины стенки. При увеличении толщины стенки с 1 до 2 мм и одинаковой величине подгибки полосы в клети величина продольной деформации возрастает в 3..4 раза.

Основной проблемой при получении качественного сварного шва трубы является волнистость кромок трубной заготовки. Причиной ее образования в процессе формовки служат пластические продольные деформации в кромках полосы. Это ведет к их остаточному удлинению и возникновению гофров.

Наружный и внутренний грат образуется при сварке кромок трубной заготовки. Удаление наружного грата не представляет трудностей для

труб любых размеров. Удаление внутреннего грата для труб средних диаметров является серьезной задачей, а для труб малых диаметров ($d \leq 25$ мм) на современных трубоэлектросварочных агрегатах его практически удалить невозможно.

Размеры и форма внутреннего грата являются одним из основных показателей качества электросварной трубы. Расчет напряженно-деформированного состояния трубной заготовки в закрытом калибре осуществлен с учетом деформированного состояния полосы в предыдущих клетях. Расчет произведен для труб диаметром от 20 до 50 мм с толщиной стенки от 0,8 до 2,5 мм для стали 08.

Анализ распределения интенсивности напряжений показывает, что наибольшая область пластической деформации сосредоточена в наружных зонах материала трубной заготовки в месте подгибки кромок.

Проведенные расчеты с увеличением диаметра вогнутого нижнего кромкогибочного валка показывают выравнивание размеров зон пластического изгиба по величине. В этом случае диаметр нижнего кромкогибочного валка увеличен на 60%.

В закрытых клетях в кромках возникают сжимающие напряжения и деформации. Распределение и величина их зависит от формы и размеров разрезной шайбы.

В последней закрытой клети кромки отформовываются на угол γ_i. Угол между кромками трубной заготовки в последней закрытой формовочной клети должен быть в интервале $0 \leq \gamma_i \leq 30$ град.

Проанализированы параметры формовки, определяющие угол схождения и напряженно-деформированное состояние кромок трубной заготовки с целью исключения гофрирования кромок при их сведении и существенного снижения размеров внутреннего грата. Установлено, что перед зоной сварки предпочтительным является схождение практически параллельных кромок трубной заготовки.

На основе анализа напряженно-деформированного состояния трубной заготовки предложен метод выбора и расчета рекомендуемых технологических параметров процесса формовки гладкими валками.

В четвертой главе для проверки достоверности результатов расчета по выбранной математической модели при проведении эксперимента по формовке гладкими валками трубной заготовки определены следующие величины: сила формовки в поперечном направлении и основные геометрические параметры очага формовки (пятно контакта, форма поперечного сечения, геометрия осевого волокна, зазор между кромками). Для исследования процесса формовки полосы в трубную заготовку изготовлена лабораторная установка. Она позволяет смоделировать различные режимы очага формовки полосы.

Для описания закона изменения формы осевого волокна трубной заготовки производили замеры высоты нижней точки полосы в процессе формовки. На основе измерений построены кривые изменения высоты

профиля, угла формовки, угла наклона сечения, радиуса формовки по длине очага сворачивания полосы. Изменение формы сечения полосы происходит не по окружности, а по кривой переменной кривизны. В процессе проведения эксперимента при различных центральных углах формовки определяли профили поперечного сечения трубной заготовки при изменении радиуса в клети.

Приведены экспериментальные и теоретические графики изменения силы формовки для трубы диаметром ∅20 мм с толщиной стенки 0,8 мм из стали 08. Ошибка между экспериментальными и теоретическими значениями составляет не более 12%. Это допустимо в инженерных расчетах.

Для определения зависимости силы формовки от величины текущего радиуса формовки проведены замеры при разных центральных углах формовки для различных геометрических размеров полосы. Установлено с увеличением угла подгибки трубной заготовки возрастание значения силы формовки. Это наряду с определением зависимости силы формовки от угла приложения согласуется с полученными теоретическими результатами.

В продольном направлении очага формовки в процессе эксперимента изменяли геометрию осевого волокна за счет высоты нижней точки трубной заготовки. Поведение полосы в межклетьевых промежутках оценивали по траектории движения кромки трубной заготовки. При изменении расстояния между клетями исследовали угол наклона поперечных сечений трубной заготовки.

В пятой главе проведен расчет технологического процесса формовки электросварной прямошовной трубы на основе разработанного метода.

Предложенная в данной работе формовочная система с коническими формовочными валками (рис. 1,б) решает целый ряд проблем на основе следующих факторов: индивидуальная настройка каждой формовочной клети при переходе на следующий типоразмер; упрощение траектории перенастройки положения конических валков; использование сдвоенных боковых конических валков с горизонтальными нижними и верхними роликами для создания закрытой клети; искривление осевого волокна формуемой трубной заготовки.Установка и выверка размеров валков в быстросъемных кассетах производится на специальном стенде вне кромкогибочной стана. Радиус валков кромкогибочной клети определяют для размера трубы по формуле

$$R_k = R_T + (1..2), \qquad (5)$$

где R_T - радиус готовой трубы, мм.

В последней формовочной закрытой клети верхний горизонтальный ролик выполняется ступенчатым с направляющим ножевым диском для придания необходимого зазора между сходящимися кромками трубной заготовки. Ширина диска рассчитывается по формуле

$$b_i = f_i(R_T), \qquad (6)$$

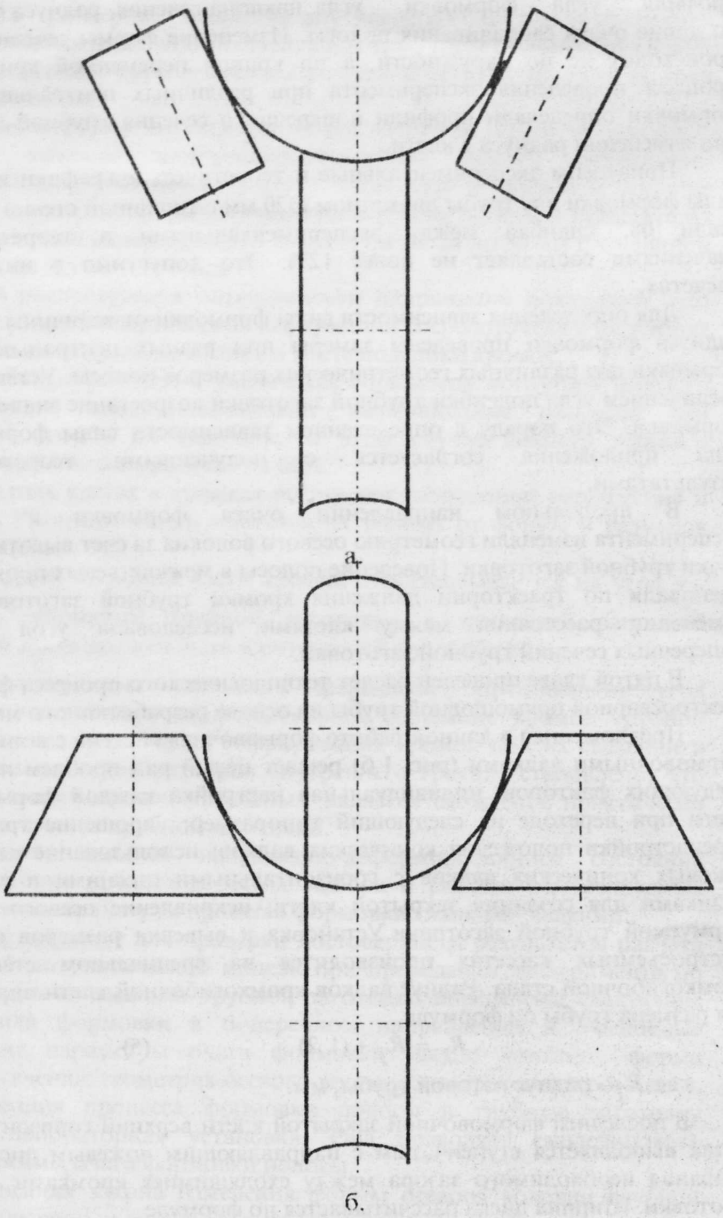

Рис. 1. Формовочная клеть с гладкими валками открытого типа; а - существующая, б - предлагаемая.

где f_i - функция, определяющая величину зазора между кромками трубной заготовки перед сваркой (0,05-0,1).

Учитывая недостатки известных конструкций трубоформовочных станов с цилиндрическими валками фирмы "ФЕСТ-АЛЬПИНЕ" (рис. 1,а), разработана конструкция стана с гладкими коническими валками.

Новая конструкция трубоформовочного стана со сдвоенными коническими валками обеспечивает создание клети закрытого типа. Использование конического формовочного инструмента вместо цилиндрических роликов значительно упрощает траекторию регулировки при перенастройке.

В закрытых формовочных клетях угол конусности верхнего ролика выполнен для обеспечения заданного зазора между кромками для всего диапазона формуемых труб.

В специальных кассетах закреплены боковые конические валки. Направляющие для автоматической перенастройки на следующий типоразмер выпускаемых труб имеют в пространстве угол наклона β.

Угол регулировки в i-той клети определяется следующим выражением для φ<220 град:

$$\beta_i = arctg \frac{R_2^i\left(1-cos\psi_2^i\right) - R_1^i\left(1-cos\psi_1^i\right)}{R_2^i sin\psi_2^i - R_1^i sin\psi_1^i} \qquad (7)$$

Для угла формовки φ>220 град выражение для угла регулировки примет вид:

$$\beta_i = arctg \frac{R_2^i\left(2-cos\left(\psi_2^i-\frac{\pi}{2}\right)\right) - R_1^i\left(2-cos\left(\psi_1^i-\frac{\pi}{2}\right)\right)}{R_2^i sin\left(\psi_2^i-\frac{\pi}{2}\right) - R_1^i sin\left(\psi_1^i-\frac{\pi}{2}\right)} \qquad (8),$$

где ψ_1^i, ψ_2^i - угол приложения силы при формовке минимального и максимального диаметра трубы соответственно в i-той клети, рад;

R_1^i, R_2^i - текущий радиус при формовке минимального и максимального диаметра трубы соответственно в i-той клети, мм.

Конусностью боковых холостых валков обеспечивается линейное перемещение при регулировке и равенство углов β в нескольких последовательных клетях за счет изменения угла конусности бокового валка α.

Таким образом, при рассмотрении i-той и i+1-той клетей изменение угла конусности $\Delta\alpha_{i+1}$ определяется по следующему выражению

$$\Delta\alpha_{i+1} = \beta_{i+1} - \beta_i \qquad (9)$$

Угол конусности бокового конического валка α_{i+1} равен

$$\alpha_{i+1} = \alpha_{Ni+1} + \Delta\alpha_{i+1} \qquad (10)$$

где α_{Ni+1} - угол конусности валка, определяемый по величине силы формовки, рад.

В программе расчета, реализованной в электронных таблицах "Supercalc" и "Excel", варьируемыми параметрами являются: форма осевого волокна; расстояние между клетями; закон изменения угла подгибаемой кромки.

В процессе расчета анализируется изменение продольных деформаций кромки и осевого волокна. В результате расчета выбираются значения задаваемых параметров при условии отсутствия пластических деформаций в продольном направлении в различных точках полосы.

В каждый из участков предлагаемого универсального стана встраивается индивидуальный привод, и сворачивание полосы в трубную заготовку производится холостыми гладкими валками. Значительно снизятся также затраты на перенастройку стана. В этом случае не требуется заново производить регулировку по нижней осевой точке полосы в продольном направлении стана.

В приложении приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки при формовке гладкими валками, акт о внедрении методики и результатов расчета на Московском трубном заводе.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Анализ современного состояния производства прямошовных электросварных труб показал, что в настоящее время не существует совершенной методики расчета параметров процесса формовки с помощью гладких валков. Сегодня применяется эмпирический подход, основанный на опыте конструктора и экспериментальных данных.

2. С целью разработки методов расчета основных технологических и конструктивных параметров формовочных станов с гладкими валками проведен сравнительный анализ нескольких численных методов расчета параметров напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки и выбран в качестве рабочего метод конечных элементов.

3. Предложена математическая модель процесса формовки гладкими валками на основе плоской упруго-пластической задачи и получено решение, определяющее параметры напряженно-деформированного состояния материала трубной заготовки в продольном и поперечном направлениях.

4. Установлена величина неравномерности распределения деформаций и напряжений по сечению материала трубной заготовки в процессе формовки и определены границы упругой и пластической зон, а также рассчитаны:

- силовые параметры формовки;
- углы наклона инструмента по клетям стана;

- допустимые величины подгибки в формовочных клетях по условию точности геометрической формы трубной заготовки;

- углы поворота поперечных сечений трубной заготовки в процессе формовки.

5. Разработаны критерии выбора параметров стана в продольном направлении, в том числе:

- расстояние между клетями;
- количество валков в клети и их положение;
- длина стана;
- размеры зон контактной деформации и распружинивания.

6. Установлены зависимости между напряженно-деформированным состоянием кромок трубной заготовки, на основе которых могут рассчитываться параметры формовки, исключающие гофрирование кромок при их сведении, что существенно снижает размеры внутреннего грата. Рекомендуется непосредственно перед зоной сварки обеспечивать сближение практически параллельных кромок трубной заготовки. Характер схождения кромок определяет калибровка инструмента в кромкогибочной и последних закрытых формовочных клетях. Предложен расчет калибровки инструмента и разрезной шайбы (форма и размер) в закрытых формовочных клетях.

7. Полученные на созданной лабораторной установке экспериментальные данные по геометрическим и силовым параметрам процесса формовки гладкими валками, геометрическим размерам очага сворачивания и точности формы поперечного сечения полосы оказались близкими с расчетными величинами. Ошибка не превышает 10..12 %, что подтверждает применимость выбранной математической модели и достаточную точность выполненных расчетов.

8. Разработанные методы расчета технологических параметров необходимы для создания новых конструкций трубосварочных станов, обладающих возможностью перенастройки при изготовлении труб широкой номенклатуры с минимальными затратами времени и сокращенным объемом инструмента, а в действующем производстве сократить время и расход материала на переналадку.

9. Предложен новый тип инструмента формовочного стана - конические валки, повышающие удобство обслуживания и точность формовки труб. Представлены зависимости для переналадки универсального формовочного стана на разный типоразмер выпускаемых труб, сокращающие время и настроечные работы.

10. Предложена конструкция закрытых формовочных клетей, определяющая взаимную ориентацию кромок трубной заготовки и повышающая стабильность процесса сварки.

11. Разработанный метод расчета параметров формовки, рекомендации по совершенствованию процесса формовки гладкими валками и предложенная конструкция элементов оборудования стана и новый тип инструмента приняты в АО "ФИЛИТ" (Московский трубный

завод).

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Глебов А.А. Определение величины подгибки трубной заготовки в клети в процессе формовки гладкими валками//КШП. -1998. -N.7. -С. 35-38.

2. Чехин А.Ф., Жулидов Н.В., Глебов А.А. Определение положения рабочего инструмента при формовке трубной заготовки гладкими валками //Металлург. -1998. -N. 6. -С.41-43.