

На правах рукописи

Пашков Николай Григорьевич

**«Разработка эффективных способов формоизменения
прямошовных электросварных труб нефтяного сортамента
в линии трубоэлектросварочного агрегата»**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена в Московском государственном институте стали и сплавов (технологическом университете) на кафедре «Технология и оборудование трубного производства».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Самусев Сергей Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Юсупов Владимир Сабитович

кандидат технических наук Нестеров Григорий Валерьевич

Ведущая организация: ОАО «Челябинский трубопрокатный завод»

Защита состоится «18» апреля 2007 года в «14 - 00» часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Московском государственном институте стали и сплавов (технологическом университете) по адресу:

119049, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета).

Автореферат разослан «___» _____ 2007 года.

Справки по телефону: 955-01-27

Ученый секретарь

диссертационного совета

Ионов С. М.

Общая характеристика работы.

Актуальность работы. В России и в других странах с высоким техническим развитием, таких как: США, Канада и Япония в последние 10-15 лет идет процесс замены бесшовных труб нефтяного сортамента электросварными трубами, наиболее точными по геометрии и с более низкой себестоимостью в производстве.

Развитие нефте- и газодобывающих отраслей, возникновение качественно новых методов добычи приводит к необходимости повышения качества труб и трубных материалов, возрастает выпуск труб со специальными свойствами из низколегированных марок сталей высоких классов прочности.

Действующие в России станы ТЭСА (трубоэлектросварочные агрегаты) были изначально предназначены для производства труб общего назначения из углеродистых марок сталей. В рыночных условиях производители электросварных труб переходят на более высокостойкие сегменты рынка труб нефтяного сортамента.

В связи с отсутствием опыта производства электросварных труб нефтяного сортамента с большой толщиной стенки из низколегированных марок сталей появляются проблемы формовки и получения точной геометрии труб при калибровке.

При решении этих проблем возникают определенные трудности, связанные с недостаточной изученностью некоторых вопросов теории и практики процессов непрерывного формоизменения труб в линии различных станов ТЭСА. Поэтому появляется необходимость в разработке эффективных технических решений для производства труб нефтяного сортамента из низколегированных марок сталей с большей толщиной стенки на действующих станах ТЭСА при минимальных затратах.

Целью работы является повышение эффективности производства, посредством разработки новых способов и технологических режимов формоизменения электросварных труб нефтяного сортамента на основе учета условий контактного взаимодействия инструмента и трубной заготовки в линии станов ТЭСА.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Усовершенствовать методики расчета напряженно – деформированного состояния и энергосиловых параметров в процессе непрерывного формоизменения трубной заготовки в клетях формовочного, сварочного и калибровочного станов ТЭСА;

2. Провести экспериментальную проверку с коррекцией результатов расчета процесса формоизменения трубной заготовки в линии станов агрегата и оценить модель расчета технических параметров процесса производства труб в промышленных условиях;

3. Разработать программное обеспечение для расчета основных технических параметров процесса формоизменения прямошовных сварных труб в деформационных станах агрегата;

4. Оценить возможность расширения сортамента труб на действующем оборудовании ТЭСА 42-159 на основе оценки прочностных характеристик рабочих клеток и основных узлов станов агрегата, а также установить границы допустимых усилий формоизменения в клетях;

5. Разработать эффективные технические решения, позволяющие определять рациональные деформационные и энергосиловые режимы процесса формоизменения сварных труб нефтяного сортамента в различных станах ТЭСА.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Усовершенствованы методики расчета напряженно – деформированного состояния путем уточнения характера траекторий материальных волокон и энергосиловых параметров с учетом условия контактного взаимодействия трубной заготовки с многорадиусными калибрами в процессе непрерывного формоизменения трубной заготовки в клетях формовочного, сварочного и калибровочного станов ТЭСА;

2. Проведена экспериментальная проверка взаимосвязи энергосиловых параметров с геометрическими параметрами многорадиусного валкового инструмента с последующей коррекцией методики расчета параметров процесса формоизменения трубной заготовки в линии станов агрегата.

3. Впервые разработано программное обеспечение для расчета основных технических параметров процесса формоизменения прямошовных сварных труб с многорадиусными калибровками инструмента по линии всех деформационных станов агрегата, на базе которого разработаны новые методики расчета калибровок валкового инструмента;

4. Разработаны эффективные технические решения, позволяющие определять рациональные деформационные и энергосиловые режимы процесса формообразования сварных труб нефтяного сортамента в различных станах ТЭСА на основе расчета схем сворачивания, габаритных размеров и конструкций профилированных многовалковых калибров.

Практическая полезность работы. Разработанная в диссертации новая методика расчета калибровки валкового инструмента для различных конструкций калибров применяется на ОАО «Газпромтрубинвест» при проектировании и изготовлении технологического инструмента для новых типоразмеров труб.

Установлен геометрический и марочный диапазон с целью расширения сортамента для производства толстостенных прямошовных сварных труб нефтяного сортамента на действующем оборудовании ТЭСА 42-159 на основе оценки прочностных характеристик рабочих клеток станов агрегата. Установлены границы по допустимым усилиям формоизменения в приводных клетях.

Изготовлены опытные партии электросварных газонефтепроводных труб диаметром 159 мм и обсадных труб диаметром 114 мм из новых марок стали 07ГФБ и 18ГФБ соответственно. По результатам производства опытных партий зафиксированы более жесткие допуски по геометрии труб по сравнению с ранее используемыми калибровками, обеспечена стабильная работа оборудования.

Разработаны эффективные способы формоизменения прямошовных сварных толстостенных труб нефтяного сортамента, опробованы в производстве и внедрены: способ, обеспечивающий равномерную нагрузку приводных формовочных клеток стана, а также новый способ непрерывной калибровки сварных труб в линии ТЭСА.

На основе исследований разработан порядок технологической подготовки процесса формоизменения трубной заготовки, устанавливающий последовательность технологических переходов, проектирование и изготовления валкового калибра, при производстве сварных труб нефтяного сортамента.

Результаты исследования и новые способы производства, приведенные в настоящей работе, применимы для широкого внедрения на ТЭСА, специализирующихся на выпуске электросварных труб широкого сортамента, включающего трубы нефтяного сортамента.

Достоверность результатов. Результаты экспериментальных исследований, расчетные модели и основанные на них научные положения, выводы и рекомендации получены на основе теории формоизменения труб, с применением современного исследовательского оборудования, измерительной техники и компьютерного обеспечения.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертационной работы доложены на Международной научно-практической конференции «Теория и технология процессов пластической деформации – 2004» (Москва 2004) и научно-практическом семинаре «Научно-техническое обеспечение инновационной деятельности предприятий, институтов и фирм в металлургии» (Москва 2004).

Публикации. Основное содержание работы изложено в 12 публикациях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и выводов, включающих 164 страницы машинописного текста, 92 рисунков, 48 таблиц, библиографический список из 106 наименований источников и приложение (акт технического внедрения).

Основное содержание работы.

Первая глава является обзорной, в ней рассмотрены существующие теории и методики для определения деформированного состояния трубной заготовки в процессе непрерывного формоизменения в валковых станах ТЭСА, а также методики для расчета энергосиловых параметров процесса. Из анализа работ Ю.М. Матвеева, Б.Д. Жуковского, Ю.Ф. Шевакина, Г.А. Смирнова-Аляева, Г.Я. Гуна, В.А. Рымова и научно-технической литературы других ис-

следователей, выявлены тенденции развития теории и практики трубоэлектросварочного производства применительно к условиям, учитывающим деформационные, кинематические, энергосиловые параметры и контактное взаимодействие профилированного приводного инструмента и трубной заготовки в различных станах ТЭСА. Обоснована актуальность работы, сформулирована цель и основные задачи исследования.

Во второй главе представлена последовательность комплексного исследования геометрических параметров, НДС трубной заготовки и ЭСП в процессе формоизменения в линии станов ТЭСА 42-159, которое проводилось в соответствии с блок-схемой показанной на рисунке 1.

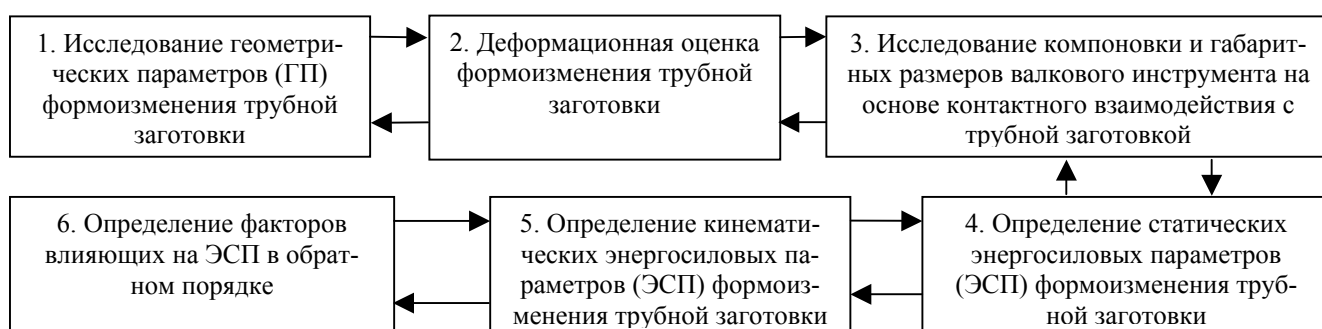


Рис. 1. Блок-схема последовательности комплексного исследования процесса формоизменения трубной заготовки.

Расчет и анализ основных параметров формоизменения заготовки проводили для трубы $\varnothing 159 \times 10$ мм в рабочих клетях станов ТЭСА с заводской базовой двухрадиусной калибровкой в сравнении с эталонной однорадиусной калибровкой Матвеева М.Ю., рассчитанной для тех же условий по компоновке и типу деформационного оборудования станов.

Поскольку однорадиусная калибровка Ю.М. Матвеева зарекомендовала себя в производственных условиях как стабильная и бездефектная калибровка, было принято допущение о том, что деформационный диапазон продольных деформаций волокон заготовки для других типов многорадиусных калибровок будет находиться в безопасном диапазоне деформаций, определенных однорадиусной калибровкой.

Последовательность расчетных действий при анализе геометрических параметров (ГП) очагов деформации и исследовании напряженно-

деформированного состояния (НДС) трубной заготовки в процессе формоизменения представлена в блок-схеме (рис. 2.).

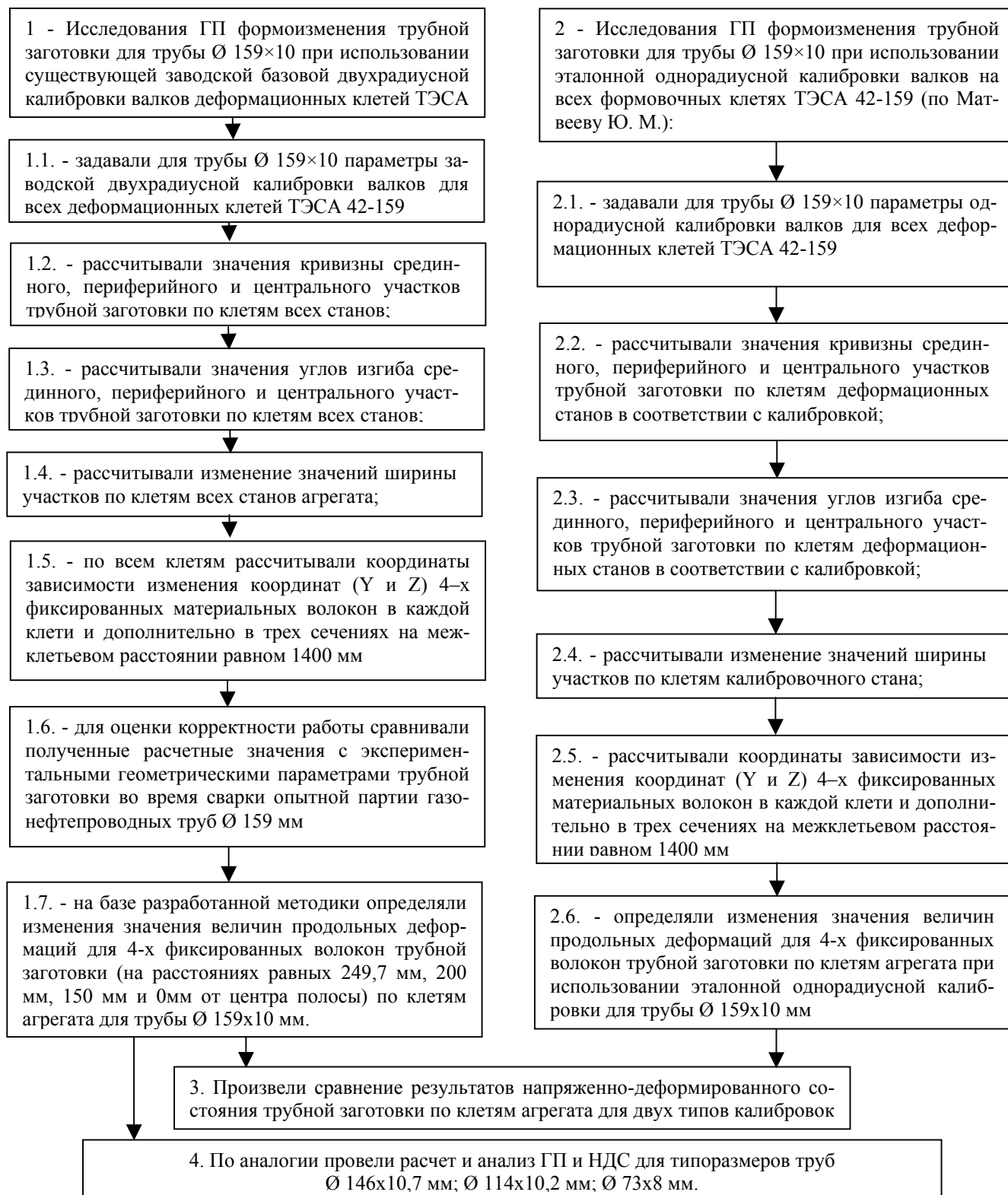


Рис. 2. Блок-схема анализа ГП очагов деформации и исследования НДС при формоизменении трубной заготовки.

Оценивая геометрические параметры очага формоизменения трубной заготовки в клетях формовочного стана сделали вывод о том, что заводская базовая двухрадиусная калибровка представляет собой качественную калибровку для производства труб общего назначения из углеродистых марок стали, но не соответствует параметрам очага формоизменения для труб нефтяного сортамента из низколегированных марок стали с более толстыми стенками, так как отсутствует точная выформовка периферийных участков радиусом близким радиусу готовой трубы в первых клетях.

Результаты расчетов ГП были проверены экспериментальным путем непосредственно на ТЭСА. Расхождение расчетных данных от замеренных не превышало 6-9%.

Расчетная методика, позволила получить наиболее полные данные о геометрических параметрах трубной заготовки по всему очагу деформации и расширить возможности определения НДС в любой выбранной точке трубной заготовки в деформационных клетях и межклетевых расстояниях.

Расчет продольных деформаций и напряжений кромки определяли по усовершенствованной методике представленной на рисунке 2.

Сравнение результатов расчета НДС для двух типов калибровки показало, что периодически возникающие дефекты при формовке заготовки не активированы заводской калибровкой, поскольку значения продольных деформаций и напряжений имеют величины деформаций и напряжений меньше, чем эти же величины в аналогичных клетях при однорадиусной калибровке.

На **рисунке 3** видно, что поле продольных деформаций двухрадиусной калибровки, ограниченное линиями 3 (кромка 249,7 мм) и 4 (центральное волокно 0 мм), находится внутри поля деформаций однорадиусной калибровки, ограниченного линиями 1 (кромка 249,7 мм) и 2 (центральное волокно 0 мм). Из **рисунка 3** видно, что наиболее интенсивные изменения касаются формовочного стана. Дальнейший анализ процесса формоизменения с учетом контактных и кинематических условий деформации и энергосиловых параметров проводили только для формовочного стана.



Рис. 3. Значения продольных деформаций для трубы Ø 159×10 при использовании заводской двухRADIUSной калибровки и однорADIUSной калибровки Матвеева Ю. М.

Расчетные значения продольных напряжений формоизменения трубной заготовки для кромки и центрального волокна при использовании двухRADIUSной и однорADIUSной калибровок для трубы Ø 159×10 представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Расчетные значения продольных напряжений трубной заготовки.

№ клетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Напряжение, МПа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
волокно расположено на расстоянии равном 249,7 мм от центра полосы (кромка)															
ДвухRADIUSная калибровка	31,8	108,7	146,6	100,6	94,7	54,4	47,3	13,3	3,6	0,1	0,05	0,01	3,1	0,1	0,11
ОднорADIUSная калибровка	179,4	174,2	163,3	147,8	129,4	1,8	42,5	12,7	1,9	0,1	0,04	0,01	3,1	0,1	0,11
волокно расположено на расстоянии равном 0 мм от центра полосы (центральное)															
ДвухRADIUSная калибровка	-1,7	-30,6	-45,4	-31,9	-30,8	-16,3	-16,3	-4,5	-3,4	-0,04	-0,04	-0,86	-3,8	-0,09	-0,11
ОднорADIUSная калибровка	-44,5	-43,7	-41,9	-39,3	-36,1	-0,5	-12,3	-3,8	-0,6	-0,04	-0,04	-0,86	-3,8	-0,09	-0,11

Характер продольных напряжений формоизменения трубной заготовки для кромки и центрального волокна при использовании двухRADIUSной и однорADIUSной калибровок повторяет картину продольных деформаций представленных на **рисунке 3**.

Далее выполнили необходимые исследования ГП и расчеты НДС для других исследуемых типоразмеров труб Ø146x10,7 мм, Ø114x10,2 мм, Ø73x8 мм. Компонировка оборудования и условия формоизменения выявили, что максимальность нагружения определяется большим значением диаметра трубной заготовки (в нашем случае Ø159x10 мм), поскольку в этом случае реализуются максимальные траектории волокон периферийных участков.

Правильный выбор геометрических параметров и деформаций по клетям формовочного стана является условием необходимым, но недостаточным для производства качественных труб на станах непрерывных ТЭСА, так как некоторые компоновки валков и схемы деформации могут привести к искажению очага деформации и производству некачественной продукции.

В третьей главе провели исследование о влиянии компоновки и габаритных размеров валкового инструмента на значения статических и кинематических параметров формоизменения трубной заготовки с учетом контактного взаимодействия с инструментом.

Установлено, что калибровка, габаритные размеры и компоновка заводского инструмента не обеспечивают выпуска качественных труб нефтяного сортамента с толстыми стенками. Трубная заготовка имела недостаточно точную выформовку кромок радиусом близким радиусу готовой трубы в первых клетях и неравномерные усилия формоизменения в клетях формовочного стана. В данной работе были предложены новые калибровки, размеры и компоновка инструмента, которые устраняют выше перечисленные недостатки.

Определяющим условием дальнейшего исследования явилась разработка методики расчета контактных площадей профилированных валковых калибров различной конструкции с многорадиусной трубной заготовкой.

Для определения контактных площадей многорадиусных калибровок были определены следующие формулы:

Длина контакта кромки с нижним валком для многорадиусных калибровок определялась по формуле:

$$L_{ik}^H = (R_{in}^K + \sum_{k=1}^i H_K) \cdot \arccos[(D_{io}^H / 2 + \sum_{k=1}^i H_K - H_i(1-K_{кл})) / (D_{io}^H / 2 + \sum_{k=1}^i H_K)],$$

где: H_k – высота профиля, образованного k – тым участком, мм; i – номер рассматриваемого участка калибровки инструмента (1 – центральный, 2 – средний, 3 – периферийный и т. д.); $K_{кл}$ – коэффициент типа клетки (для открытых клеток $K_{кл} = 0,92 - 0,94$, для закрытых клеток $K_{кл} = 0,94 - 0,96$)

Площади контакта для нижних валков и верхних валков закрытых калибров для многорадиусных калибровок:

$$F_i = \sum_{i=1}^n (L_{ik} \cdot l_i) + \sum_{i=1}^n (L_{ik} \cdot (\sum_{j=i+1}^{n+1} (2l_j) - 2l_{n+1}) - F_{ш}^6),$$

где: L_{ik} – длина контакта заготовки с валком на i – том участке, мм; l – периметр участка (для половины ширины листа), мм; n – количество участков калибровки инструмента (валка); $F_{ш}^6$ – площадь, не входящая в контакт из – за шайбы (для верхнего валка), мм², которую вычисляли следующим образом:

$$F_{ш}^6 = L_{кр}((S_{ш}/2 - \sum_{i=1}^{p-1} l_i)^2 + 2(S_{ш}/2 - \sum_{i=1}^{p-1} l_i) \cdot \sum_{i=1}^{p-1} L_{ik} + \sum_{i=1}^{p-1} L_{ik} \cdot l_i + 2 \sum_{i=1}^{p-2} L_{ik} \cdot l_{(i+1)}),$$

где p – номер участка, на котором находится край разрезной шайбы.

Площадь контакта для верхних валков открытого калибра определяли аналогично.

Во время проведения экспериментов снимали *контактные отпечатки*, анализировали их геометрию, измеряли площадь и сравнивали с расчетными данными. Экспериментальные данные по площади отпечатков в большей части на 4-8% были ниже расчетных.

В работе получена зависимость для определения усилия формоизменения трубной заготовки для многорадиусных калибровок:

$$P_i^{\phi} = \frac{\sigma_i^n \cdot \Delta \varepsilon_i \cdot S_m \cdot B_i \cdot L_i^{ен.деф.}}{K_{\phi} \cdot m_i} - \text{для открытых калибров и}$$

$$P_i^{\phi} = \frac{\sigma_i^n \cdot \Delta \varepsilon_i \cdot S_m \cdot B_i \cdot L_i^{ен.деф.}}{K_{\phi} \cdot m_i} \pm B_i^k \varepsilon_i S_m \sigma_i^n - \text{для закрытых калибров,}$$

где: P_i^{ϕ} – усилие формоизменения в i -той клетки; σ_i^n – напряжение на наружной поверхности полосы в i -той клетки, определяемое из диаграммы истинных напряжений [МПа]; S_m – толщина заготовки, [мм]; B_i – ширина заготовки, находящаяся в контакте с валками, [мм]; $L_i^{ен.деф.}$ – длина неконтактной зоны де-

формации в i -том калибре, определяется по специальной методике, [мм]; K_ϕ – коэффициент схемы формовки; m_i – ширина i -того калибра, [мм]; B_i^k – полный периметр заготовки в i закрытой клетки; $\Delta\varepsilon_i$ – величина деформациигиба в i -той клетки, определяется как разность деформаций в i -том и в $(i - 1)$ -м калибре с учетом распружинивания: $\Delta\varepsilon_i = \varepsilon_i - (1 - \beta)\varepsilon_{i-1}$, где: β – коэффициент распружинивания.

В настоящей работе тянущие усилия для верхних и нижних валков для многорадиусных калибровок определяли с учетом контактных площадей, исходя из соотношения тянущих и тормозящих зон по формуле:

$$T_i = (f \cdot P_i^\phi / 2) \cdot (1 - 8(F_{iom} / F_i)^3),$$

где: T_i – тянущее усилие, Н; f – коэффициент трения ($f = 0,08 \dots 0,12$); F_i – общая площадь контакта, мм; F_{iom} – площадь контакта заготовки в зоне отстаивания, мм.

По разработанной методике произвели расчеты всех необходимых энергосиловых параметров для исследуемых типоразмеров труб.

Результаты расчетов основных параметров ЭСП формовочного стана ТЭСА 42-159 ОАО «Газпромтрубинвест» для труб Ø 159×10 мм представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов основных параметров ЭСП формовочного стана для труб Ø 159×10 мм.

Параметры ЭСП	№ клетки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Площ. конт. заг. с верх. валк., мм ²	8335,2	8015,3	6043,2	5279,8	3090,3	223,8	667,0	896,3
Площ. конт. заг. с ниж. валк., мм ²	1446,3	9726,4	11708,1	9829,4	2301,9	1498,8	1177,5	1006,7
Усилие формоизм. верх. валка, Н	29897	37089	73915	80527	38922	25916	25754	13001
Усилие формоизм. ниж. валка, Н	30345	37608	75393	81896	39311	25657	25625	12975
Сумм. усилие формоизмен., Н	60242	74697	149308	162423	78233	51573	51379	25976
Кат. диаметр верх. валка, мм	200,3	271,9	268,4	363,4	293,3	148,2	150,9	150,9
Кат. диаметр ниж. валка, мм	153,8	150,4	146,1	173,3	142,1	147,7	150,9	150,4
Тянущее усилие верх. валка, Н	1495	1854	3696	4026	1946	1296	1288	650
Тянущее усилие ниж. валка, Н	1543	1937	3978	4611	1828	1180	1230	650
Суммарное тянущее усилие, Н	3038	3791	7674	8637	3774	2476	2518	1300

Распределение усилия формоизменения по приводным валкам и валковым калибрам рабочих клеток формовочного стана для трубы Ø 159x10 мм представлено на **рис. 4**.

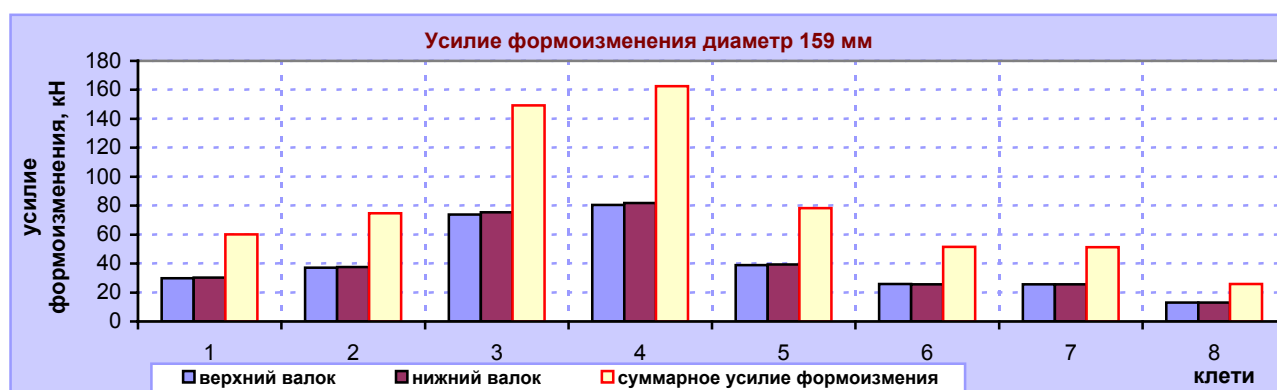


Рис 4. Распределение усилия формоизменения по приводным валкам рабочих клеток формовочного стана для трубы $\varnothing 159 \times 10$ мм.

Результаты расчетов энергосиловых параметров формовочного стана ТЭСА 42-159 ОАО «Газпромтрубинвест» для исследуемых типоразмеров труб представлены в сводной таблице № 3.

Таблица 3 - Результаты расчетов ЭСП формовочного стана для исследуемых типоразмеров труб.

Типоразмеры труб	№ клеток							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Суммарное значение усилия формоизменения, Н								
159x10 мм	60762	75825	153474	172740	75484	49515	50351	26002
146x10,7 мм	70223	102857	106316	143539	63065	83778	50997	47390
114x10,2 мм	49320	43582	87893	99199	118856	69795	71363	40380
73x8 мм	46720	33485	73576	83788	96215	52229	51994	19385
Суммарное тянущее усилие, Н								
159x10 мм	3038	3791	7674	8637	3774	2476	2518	1300
146x10,7 мм	3511	5143	5316	7177	3153	4189	2550	2369
114x10,2 мм	2466	2179	4395	4960	5943	3490	3568	2019
73x8 мм	2336	1674	3679	4189	4811	2611	2600	969

Диапазон отклонений расчетных данных ЭСП формовочного стана ТЭСА 42-159 от экспериментальных составлял 6-10%, что подтверждает приемлемость выбранных расчетных моделей для исследования.

В четвертой главе для получения более полной информации было разработано и использовалось при расчетах программное обеспечение, позволявшее поэтапно рассчитывать и оценивать все значимые геометрические показатели трубной заготовки, значения величин продольных деформаций, а также контактные условия и энергосиловые параметры по клетям агрегата для любых схем формоизменения и типоразмеров труб.

Программное обеспечение для расчета параметров технологического процесса производства сварных труб написано на языке Delphi и включает в себя следующие расчеты:

- геометрических параметров очага сворачивания;
- напряженно-деформированного состояния;
- геометрических параметров валкового инструмента;
- энергосиловых параметров процесса.

В пятой главе для определения границ допустимых усилий формоизменения в клетях выполнили прочностной расчет формовочных клеток и их элементов, по результатам которого установили основное прочностное условие производства труб нефтяного сортамента: допустимое усилие формоизменения в клетях станов должны быть не более 200 КН. Выполнение данного условия гарантирует стабильную безаварийную работу станов ТЭСА 42-159 для данных типов рабочих клеток.

При исследовании производства труб в линии ТЭСА анализировали факторы, влияющие на величину и характер изменения усилия формовки трубной заготовки: диаметр труб; толщину стенки; механические свойства стали; неравномерность усилий формоизменения по клетям формовочного стана.

На **рисунке 5** представлен график распределения усилия формовки по рабочим клетям формовочного стана ТЭСА 42-159 четырех исследуемых типоразмеров труб из марки стали 20.

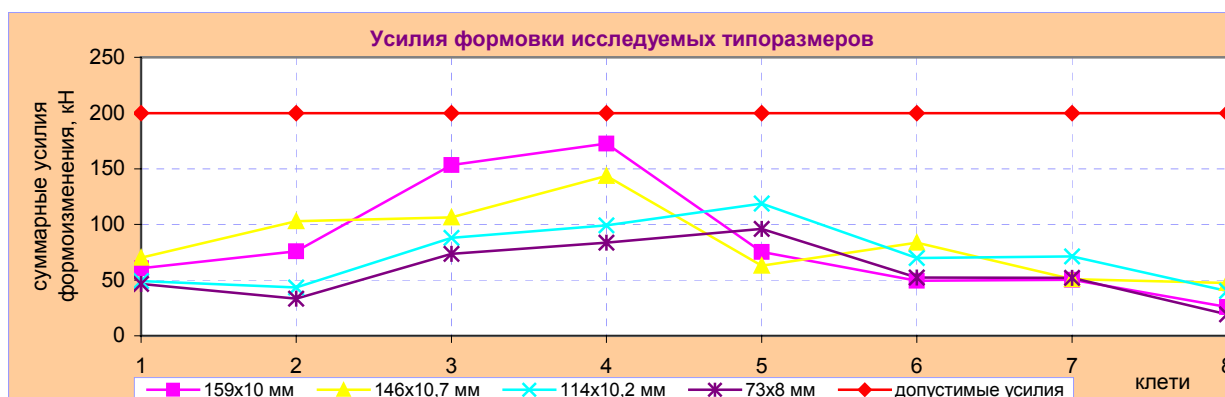


Рис. 5. Распределение суммарного усилия формовки по клетям формовочного стана четырех исследуемых типоразмеров труб из марки стали 20.

Из выше приведенного рисунка можно увидеть, что усилия в любой клетки формовочного стана для всех исследуемых типоразмеров труб из марки стали 20 ниже допустимого усилия формоизменения 200 КН.

По результатам расчета установлено, что при производстве исследуемых типоразмеров труб из марки стали 20 формовочные клетки выдержат нагрузки, возникающие при формовке трубной заготовки, и обеспечат безаварийную работу основных элементов клеток.

В процессе исследования влияния ГП на ЭСП установлено, что существует прямая линейная зависимость усилий формовки от диаметра труб. Из технической литературы известно, что длина формовочного стана, поделенная на 50, определяет максимальный диаметр труб возможных для производства на непрерывных ТЭСА. Таким образом, исходя из длины формовочного стана 11,2 м при использовании благоприятных калибровок и соответствующих деформационных схем на ТЭСА 42-159, можно производить углеродистые трубы диаметром до 224 мм. То есть на ТЭСА 42-159 есть возможность расширить диапазон, выпускаемых труб по диаметру используя и другие марки стали, при условии выполнения основного прочностного условия производства труб нефтяного сортамента.

С помощью программы рассчитали влияние толщины стенки труб из марки стали 20 на изменения величин усилий формовки в каждой клетки формовочного стана. Суммарное усилие формовки для труб $\varnothing 159 \times 11$ мм составляет 190014 Н, оно максимально приближено к допустимому значению 200000 Н, а значение усилия формовки для труб $\varnothing 159 \times 12$ мм составляет 207288 Н, превышая принятые допустимые усилия формовки на 3,6%. То есть для освоения производства труб нефтяного сортамента с более толстыми стенками необходимо снижать значения максимальных усилий формоизменения заготовки в клетях формовочного стана путем разработки и использования новых калибровок и деформационных схем.

Все исследования и расчеты для трубы $\varnothing 159 \times 10$ мм и остальных исследуемых типоразмеров труб выполнены для марки стали 20 с $\sigma_T = 300$ МПа. В связи с освоением производства нефтегазопроводных труб из новых низколе-

гированных марок стали 07ГФБ и 18ГФБ предел текучести σ_T превышает 300 МПа.

Были проведены расчеты суммарных усилий формоизменения, представленные в таблице 4, для марок стали с различными пределами текучести: 300 МПа; 400 МПа; 500 МПа; 600 МПа; 700 МПа при производстве трубы $\varnothing 159 \times 10$ мм.

Таблица 4 - Суммарные усилия формоизменения для различных марок стали.

σ_T	Марки стали	Суммарное усилие формоизменения по клетям, Н							
		1	2	3	4	5	6	7	8
300 МПа	20	60762	75825	153474	172740	75484	49515	50351	26002
400 МПа	07ГФБ	75952	94781	191842	215925	94355	61894	62939	32502
500 МПа	18ГФБ	91143	113737	230211	259110	113226	74272	75526	39003
600 МПа		106333	132694	268579	302295	132097	86651	88114	45503
700 МПа		132917	165867	335724	377869	165121	108314	110143	56879

В ходе исследований было подтверждено экспериментально влияние толщины стенки труб и предела текучести стали на энергосиловые параметры при производстве опытных партий труб $\varnothing 159$ мм.

Из таблицы 3 видно, что усилия формовки для марки стали 07ГФБ в 4-й клетки составляют 216 КН и превышают допустимые усилия на 16 КН. Для марки стали 18ГФБ допустимые усилия превышены в 3-й клетки на 30 КН и в 4-й клетки на 59 КН. Что приводит к выводу о невозможности производства этого типоразмера труб из данных марок стали без изменения схемы формовки и калибровки валкового инструмента с целью снижения максимальных усилий формовки в 3-ей и 4-ой клетях формовочного стана и выравнивания усилий во всех клетях стана.

Проведенные исследования позволили установить основные недостатки заводского валкового инструмента, ограничивающие возможность производства труб нефтяного сортамента из новых низколегированных марок стали с диаметром более 159 мм и с большей толщиной стенки, а именно:

1 - несоблюдение основного условия качественной формовки толстостенных труб - качественная выформовка периферийных участков заготовки в первой половине очага деформации в готовый размер под сварку;

2 – неравномерность продольных деформаций в клетях формовочного стана, приводящая к неустойчивой формовке, сопровождающейся образованием гофров;

3 - неравномерность усилий формоизменения в клетях формовочного стана и отсутствие механизма уменьшения их максимальных значений, вследствие превышения допустимого уровня, приводит к вероятности разрушения наиболее нагруженных элементов клетей формовочного стана;

4 - отсутствие возможности регулировки величины контактной площади трубной заготовки и валкового инструмента, а также влияния на величину усилия формовки.

По результатам данной работы техническим специалистам ОАО «Газпромтрубинвест» было рекомендовано при определении технологических режимов производства сварных труб нефтяного сортамента:

1 – применять на практике усовершенствованные методики определения основных технических параметров процесса формоизменения трубной заготовки в линии стана при расчете параметров новых типоразмеров;

2 – использовать программы расчета технологических параметров процесса формовки сварных труб в линии ТЭСА, позволяющих определять основные технологические и геометрические параметры процесса формовки для широкого сортамента труб с учетом прочностного критерия работы клетей.

В **шестой главе** по результатам проведенной работы разработаны новые способы формоизменения труб нефтяного сортамента на ТЭСА 42-159 в условиях ОАО «Газпромтрубинвест».

На способ идентификации усилий формовки по всем клетям формовочного стана подана заявка № 2005140006/02(044597) и получено положительное решение ФГУ ФИПС «РОСПАТЕНТ» о выдаче патента.

Исследования, проведенные на стане и анализ известных способов формовки, позволили разработать новый способ формоизменения, который наряду с производством качественных сварных труб, обеспечил равномерную нагрузку по рабочим клетям станов и безопасный диапазон деформационных усилий.

На основе разработанного способа произвели изменение кривизны участков трубной заготовки до обеспечения идентичного значения вертикального усилия формоизменения в рабочих клетях.

Расчеты значений величины усилия формовки по приводным клетям формовочного стана до и после опробования нового комплекта инструмента при производстве труб $\varnothing 159 \times 10,0$ мм из марок стали 20 и 07ГФБ показали, что усилия формовки трубы с заводской калибровкой из марки стали 07ГФБ превышают в 4-й клетке на 16 КН допустимые усилия формоизменения. После применения нового инструмента, разработанного в соответствии с рекомендациями данного способа, максимальные усилия формовки для 07ГФБ в 4-й клетке составили 117 КН при этом диапазон выровненных усилий по остальным клетям составил 108 – 117 КН, что соответствует основному прочностному условию и обеспечивает стабильную работу агрегата.

Данный способ прошел промышленное опробование на ТЭСА 42-159 и является ключевым в части расширения геометрического и марочного диапазона труб нефтяного сортамента.

Способ управления технологической подготовкой производства прямошовных электросварных труб в линии ТЭСА направлен на разработку конструкций калибров валкового инструмента, обеспечивающих упрощение технологической подготовки, включающей изготовление инструмента, его сборку, настройку и последующую эксплуатацию в наиболее приемлемых режимах и для оборудования стана и для качества готовых труб.

Перед изготовлением комплекта валкового инструмента исходный периметр профиля трубной заготовки разбили на участки профиля с постоянной кривизной по контактной ширине валка и для валков калибра вычислили габаритные размеры, которые затем корректировали до обеспечения равенства тянущих площадей в открытых и закрытых блоках калибров с условием, что тянущая составляющая контактной площади клетки в закрытых блоках калибров в два раза меньше, чем в открытых калибрах.

На базе типовых валковых калибров различного исполнения были сконструированы несколько вариантов многовалковых однорадиусных калибров, вос-

производящих любой многорадиусный профиль заготовки. Ширины контакта для валков определяли за счет разделения исходного многорадиусного профиля на однорадиусные участки контакта с инструментом. ЭСП процесса формоизменения на стане регулировали величинами тянущих контактных площадей блоков валков стана.

Применение способа управления технологической подготовки производства прямошовных электросварных труб в линии ТЭСА 42-159, позволит получить необходимые активные тянущие составляющие, по предлагаемому способу и за счет этого качественную продукцию.

На разработанный способ калибровки сварных труб в линии ТЭСА получен патент РФ № 2292973 от 03.02. 2006 г.

Применительно к существующей технологии производства электросварных труб в линии ТЭСА 42-159 был разработан способ непрерывной калибровки труб в линии агрегата.

Проведенные исследования позволили установить что, достигается высокая эффективность по производству сварных калиброванных труб в заданных допусках при применении в процессе непрерывной калибровки сварных труб комплексной операции редуцирования сварного профиля заготовки в приводных калибрах с уменьшением величины редуцирования от 2% в первой клетки калибровочного стана до (0,3-0,5)% в правильной клетки и формоизменения в линии калибровочного стана в режимах знакопеременногогиба с задачей относительной кривизной участков профиля по приводным клетям в диапазонах: для периферийных и центральных участков - $(1,33 \div 1,05)$ для первой и $(1,18 \div 1,11)$ второй клетей и средних участков $(0,91 \div 0,8)$ для первой и $(0,9 \div 0,88)$ второй клетей.

Техническим результатом предложенного способа явилось эффективное сочетание редуцирования и знакопеременной калибровки (гибки) различных участков профиля заготовки и определение геометрических параметров технологического инструмента для любого типоразмера стана из сортамента ТЭСА.

Применение данного способа позволило сократить диапазон предельных отклонений по наружному диаметру на 5-10% и обеспечить получение точных по геометрии электросварных труб нефтяного сортамента.

Данный способ прошел промышленное опробование на ТЭСА 42-159 ОАО «Газпромтрубинвест» и по результатам опытных партий труб были получены трубы с более точными допусками по сравнению с ранее используемыми калибровками.

Основные выводы по работе.

1. Усовершенствованы методики расчета напряженно – деформированного состояния путем уточнения характера траекторий материальных волокон и энергосиловых параметров с учетом условия контактного взаимодействия трубной заготовки с многорадиусными калибрами в процессе непрерывного формоизменения трубной заготовки в клетях формовочного, сварочного и калибровочного станов ТЭСА, позволившие расширить диапазон производства труб нефтяного сортамента.

2. Проведенная экспериментальная проверка подтвердила взаимосвязь энергосиловых параметров с геометрическими параметрами многорадиусного валкового инструмента в процессе формоизменения трубной заготовки в линии станов агрегата, а также приемлемость выбранных расчетных моделей для исследования процесса формоизменения труб в промышленных условиях.

3. Разработано новое программное обеспечение для расчета основных технических параметров процесса формоизменения прямошовных сварных труб с многорадиусными калибровками инструмента по линии всех деформационных станов агрегата, на базе которого разработаны новые методики расчета калибровок валкового инструмента.

4. Комплексные исследования выбранных 4 – х типоразмеров труб подтвердили реальную возможность производства и расширения диапазона по геометрическому и марочному составу труб нефтяного сортамента в линии ТЭСА 42-159. Установлены границы допустимых усилий формоизменения в клетях формовочного стана.

5. Разработан и опробован на ОАО «Газпромтрубинвест» новый способ формовки трубной заготовки при производстве труб нефтяного сортамента в линии ТЭСА, обеспечивающий идентичные усилия формоизменения по приводным клетям стана, применение которого позволяет работать в безопасном диапазоне деформационных усилий.

6. Разработан новый способ управления технологической подготовкой производства прямошовных электросварных труб в линии ТЭСА, обеспечивающий упрощенную технологическую подготовку в части изготовления инструмента, его настройки и эксплуатации формовочных клеток, применение, которого улучшает формовку труб.

7. Разработан и опробован на ОАО «Газпромтрубинвест» новый способ непрерывной калибровки сварных труб в линии ТЭСА на основе рационального сочетания режимов редуцирования и овализации закрытого профиля применение, которого позволяет производить точные по геометрии электросварные трубы нефтяного сортамента.

Основные публикации по теме диссертации.

1. Самусев С.В., Захаров Д.В., Пашков Н.Г., Иванова Е.Ю., Терентьев В.В., Совершенствование процесса получения тонкостенных оболочек и труб в линии ТЭСА. Международная научно-практическая конференция «Теория и технология процессов пластической деформации – 2004», тезисы докладов, М.: MULTIPRINT - МИСиС, 2004.

2. Самусев С.В., Пашков Н.Г., Клестов В.Ф., Ламин А.Б., Малюков А.В., Еремина О.А.. Повышение качества труб из коррозионностойких сталей изготавливаемых на ТЭСА АДС 10-60 в условиях ОАО «МТЗ ФИЛИТ», Международная научно-практическая конференция «Теория и технология процессов пластической деформации – 2004», тезисы докладов, М.: MULTIPRINT - МИСиС, 2004.

3. Самусев С.В., Пашков Н.Г., Иванова Е.Ю., Терентьев В.В., Зелова Л.В.. Технология производства прямошовных сварных труб и профилей в линии ТЭСА. Научно-технологическое обеспечение инновационной деятельности

предприятий, институтов и фирм в металлургии: Материалы семинара. Под ред. проф. Л.В. Кожитова – М.: МИСиС, 2004, Том 1.

4. Самусев С.В., Захаров Д.В., Пашков Н.Г., Иванова Е.Ю., Терентьев В.В. Методика определения деформационных параметров при непрерывной формовке трубной заготовки в различных очагах сворачивания. Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2005. № 11,

5. Самусев С.В., Захаров Д.В., Пашков Н.Г., Ламин А.Б., Маршалкин К.В., Мойсов Л.П. Совершенствование технологии и оборудования для производства тонкостенных труб и оболочек специального назначения. Сталь. 2005. г. №9.

6. Самусев С.В., Плисов С.А., Захаров Д.В., Пашков Н.Г., Совершенствование процесса производства сварных труб и оболочек в линии ТЭСА с не приводным валковым инструментом. Сборник научных трудов студентов и аспирантов МИСиС/ Металлургические машины и оборудование, М: МИСиС, 2005.

7. Самусев С.В., Захаров Д.В., Пашков Н.Г., Иванова Е.Ю., Терентьев В.В., Методика определения геометрических параметров очага сворачивания при непрерывной формовке заготовки для получения труб малого и среднего диаметра. Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2006. № 2.

8. Самусев С.В., Пашков Н.Г., Зелова Л.В., Соловьев Д.М. Разработка эффективных режимов калибровки прямошовных сварных труб малого и среднего диаметра. Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2006. № 9.

9. Самусев С.В., Фортунатов А.Н., Пашков Н.Г., Фролова Н.А. Методы расчета калибровок инструмента и энергосиловых параметров процесса производства сварных труб в линии прессов и ТЭСА: сборник задач – ВФ МИСиС, 2006.

10. Самусев С.В., Пашков Н.Г., Зелова Л.В., Фортунатов А.Н. Разработка калибровки технологического инструмента, обеспечивающего идентичные усилия в приводных клетях формовочного стана ТЭСА. Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2006. № 11.

11. Бородкина А. М., Пашков Н.Г., Самусев С.В. Разработка калибровки валкового инструмента формовочного стана для производства прямошовных труб в линии ТЭСА. Сборник научных трудов студентов и аспирантов МИСиС/ Металлургические машины и оборудование, М: МИСиС, 2006.

12. Патент № 2292973 (Российская Федерация) Способ калибровки прямошовных электросварных труб. Самусев С.В., Пашков Н.Г., Зелова Л.В. и др. – Оpubл. 10.02.2007 в Бюл. № 4.