

05.16.05
Г932

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ГУБИН АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ

УДК 669.187.26

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ

Специальность 05.16.05 -

"Обработка металлов давлением"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
1983

77
110

Работа выполнена в Уральском научно-исследовательском институте трубной промышленности и на Днепропетровском заводе им. Ленина.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.Н. ВЫДРИН.

Официальные оппоненты - лауреат Государственных премий СССР и УССР, лауреат премии Совета Министров, доктор технических наук, профессор Г.И. ГУЛЯЕВ,
- лауреат Государственной премии СССР, кандидат технических наук Ф.Д. МОГИЛЕВКИН.

Ведущее предприятие - Днепропетровский трубопрокатный завод им. Ленина.

Защита состоится "4" мая 1983г. в 14 часов на заседании специализированного совета К 053.13.03 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола (г. Челябинск, проспект имени В.И. Ленина, 76, ауд. 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "29" мая 1983г.

Отзыв на автореферат просим направлять, заверенный печатью, по адресу : 454044, г. Челябинск, проспект им. Ленина, 76, ученому секретарю.

Ученый секретарь специализированного совета К 053.13.03, кандидат технических наук, доцент



О.К. ТОКОВОЙ



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В решениях XXII съезда КСЮ отмечено важное значение расширения производства новых экономичных видов проката для снижения металлоемкости продукции и повышения рентабельности промышленности.

Несмотря на то, что профильные трубы являются одним из наиболее экономичных и перспективных видов проката для широкого использования в различных отраслях машиностроения и строительства, объем их производства отстает от потребностей народного хозяйства.

Одной из причин недостаточного уровня производства профильных труб является трудность гарантированного обеспечения качества труб в соответствии с требованиями потребителей при существующем уровне технологии на оборудовании, запроектированном только для выпуска труб круглого сечения.

Возникает необходимость совершенствования технологии производства профильных труб в направлении создания калибровок, режимов деформации и скоростных режимов непрерывных безоправочных станков, обеспечивающих требуемое качество готовых труб, а также разработки расчетных формул для определения энергосиловых и кинематических параметров, что необходимо при проектировании нового специализированного оборудования.

Цель работы. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса формоизменения круглых труб в профильные. Разработка аналитических зависимостей для определения энергосиловых и кинематических параметров, необходимых при проектировании нового оборудования для производства профильных труб. Разработка рекомендаций по созданию калибровок валков, деформационных, скоростных и температурных режимов процесса непрерывной безоправочной прокатки профильных труб, обеспечивающих повышение их качества. Реализация разработанных рекомендаций путем внедрения усовершенствованной технологии на трубных заводах.

Научная новизна. На основе уравнения энергетического баланса и условия равновесия сил получены аналитические зависимости для определения ряда основных параметров непрерывной безоправочной прокатки профильных труб: удельного момента давления металла на валки, момента и мощности прокатки, контактной поверхности и ее проекций, скорости выхода металла из валков, числа оборотов и диаметра валков. При выводе формул для определения ряда параметров впервые для процесса без-

оправочной прокатки учтено отклонение главных напряжений от тангенциального и радиального направлений.

Комплекс экспериментальных исследований, осуществленный в лабораторных и производственных условиях, позволил установить влияние распределения обжатия по клетям, количества клетей, степени толстостенности труб, температуры деформации, параметров калибровок валков на качество профильных труб (на геометрию и механические свойства).

Практическая ценность и реализация работы в промышленности.

На основе совместного использования теоретических и экспериментальных исследований разработана новая методика расчета калибровок и сформулированы рекомендации по совершенствованию других элементов технологии прокатки профильных труб. Разработанные аналитические зависимости для определения энергосиловых и кинематических параметров необходимы при проектировании технологии и специализированного оборудования для производства профильных труб.

Выполненные технические разработки внедрены в производство и обеспечили совершенствование технологии производства и освоение профильных труб нового сортамента на трубоэлектросварочных агрегатах трубных заводов "Лентрубосталь" и им. Ленина. Внедрение с общим годовым эффектом 927,8 тыс. руб. позволило обеспечить регулярную поставку промышленных партий высококачественных прямоугольных и квадратных труб.

Апробация работ. Материалы диссертации доложены на:

1. Всесоюзном научно-техническом семинаре "Новое в технологии трубного производства", ВДНХ, 1970г.

2. Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы повышения эффективности производства и качества труб". Днепропетровск, 1978г.

3. Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование процессов продольной прокатки труб", Челябинск, 1979г.

4. Всесоюзном научно-техническом семинаре "Передовой опыт предприятий черной металлургии по снижению расхода металла", ВДНХ, 1980г.

Публикация работы. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 12 печатных трудах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и выводов, содержит 158 страниц машинописного текста, 37 рисунков, 16 таблиц, список использованной литературы из 84 наименований, приложения.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОФИЛИРОВАНИЯ В КАЛИБРОВАННЫХ ВАЛКАХ

Анализ литературных источников, прямо или косвенно связанных с производством профильных труб, показал, что наиболее экономичным и перспективным способом производства профильных труб является формоизменение круглых труб на непрерывных безоправочных станах.

Из анализа литературы вытекает необходимость оптимизации технологии непрерывной прокатки профильных труб. Основными элементами технологии являются калибровка валков, кинематические и энергосиловые параметры процесса, расчет которых необходим при проектировании новых профилировочных станков. Это предопределило круг теоретических вопросов, решаемых в настоящей работе.

Наиболее полным уравнением взаимосвязей кинематических и динамических параметров процесса прокатки является уравнение энергетического баланса, широкое применение которого в теории прокатки началось в основополагающих работах В.Н.Видрина.

Уравнение энергетического баланса составляется исходя из равенства суммы мощности N_0 на бочке валков и мощности $N_{ан}$, вносимой в очаг деформации внешними силами, приложенными к концам полос, сумме мощности $N_{ф}$, затрачиваемой на формоизменение и мощности N_T на трение полосы о валки.

Поскольку мощность на валке равна сумме мощности $N_к$, передаваемой металлу силами трения, и мощности трения полосы о валки N_T , уравнение энергетического баланса можно записать в более простом виде согласно работам В.Н.Видрина

$$N_к + N_{ан} - N_0 = 0 \quad (1)$$

Мощность, передаваемая металлу валками, является функцией сил трения ϵ , продольной скорости металла U_H , соотношения между площадями опережения F_{12} и отставания F_{11} и количества валков α , образующих калибр

$$N_к = \alpha \left[\int_{F_{11}} \epsilon_H U_H dF - \int_{F_{12}} \epsilon_H U_H dF \right] \quad (2)$$

При наличии в клети дозавочных холостых валков к левой части уравнения (1) необходимо добавить отрицательную мощность

$N_х$, затрачиваемую металлом на вращение холостых валков.

После решения интегралов, содержащих продольную скорость металла, при подстановке в уравнение (1) зависимостей, описывающих

ние конкретные составляющие мощностей M_1, N_{01}, N_{02}, M_2 , была получена в явном виде, с использованием экспериментальных данных, следующая формула взаимосвязи скорости металла U_m в любом сечении очага деформации от коэффициента вытяжки M_1 , отношения нарастающей площади контактной поверхности F к полной контактной поверхности F_m и скорости выхода металла

$$U_m = U_0 [1 + (\mu - 1) \frac{F}{F_m}], \quad (3)$$

В уравнении энергетического баланса мощность формоизменения N_{01} определялась как сумма мощностей, затрачиваемой на пластический разгиб и изгиб отдельных элементов поперечного сечения трубы при ее формоизменении и мощностей, затрачиваемой на облатие трубы по периметру. В результате решения получена следующая формула для определения мощности формоизменения круглой трубы в прямоугольную

$$N_{01} = \sigma_{sc}^* U_m \left[t^2 \frac{(\mu_1 - 1)(0,5\pi + d_{ro} + d_{so} - \beta_0)}{2\mu_1(2/\mu_1 - 1)} + S_m \ln \mu_1 \right], \quad (4)$$

где σ_{sc}^* - средний предел текучести,

U_m - скорость выхода металла из последней клетки,

μ_1 - суммарный коэффициент вытяжки,

n - количество формоизменяющих клеток,

S_m - площадь поперечного сечения готовой трубы,

d_{ro}, d_{so}, β_0 - центральные углы дуг соответственно горизонтальной, вертикальной сторон профиля и закругления углов профиля,

t - толщина стенки трубы.

Подстановка в уравнение (1) всех полученных составляющих энергетического баланса мощностей позволила получить уравнение энергетического баланса в общем виде, а затем после ряда упрощений, действительных для случая прокатки прямоугольных и квадратных труб, получить это уравнение в виде, более удобном для практического использования

$$a_i f_i p_i F_{ni} [0,5(\mu_i + 1) - 2\mu_i K_i (\mu_i - 1)] \frac{1}{\mu_i^2} = \sigma_{sc}^* U_i^2 \left\{ t^2 [(d_{ro_i} - d_{ri_i})(d_{so_i} - d_{sn_i})(\beta_{ri_i} - \beta_{so_i})] + S_i \ln \mu_i \right\}, \quad (5)$$

где p - удельное давление,

a - количество валков, образующих калибр,

K - отношение площади зоны опережения к площади всей контактной поверхности,

i - порядковый номер клетки,

f - коэффициент трения.

Наряду с уравнением (5), действительным для прокатки в рассматриваемом калибре, получено уравнение энергетического баланса для всего цикла формоизменения трубы на стане с групповым приводом.

Реализация уравнения энергетического баланса невозможна без предварительного определения истинного сопротивления металла деформации, удельного давления и контактной площади в каждом очаге деформации, которые являются, в свою очередь, элементами расчета силовых и энергетических параметров.

В работе показано, что основной причиной заниженных расчетных величин удельного давления и расхода энергии на процесс прокатки является отсутствие учета взаимного влияния соседних участков профиля, находящихся в различных напряженно-деформированных состояниях.

Путем теоретического анализа силового взаимодействия на границе разгибаемого и изгибаемого участков металла трубы при уменьшении периметра определен дополнительный момент сопротивления пластическому изгибу внеконтактного элемента трубы сравнительно с чистым пластическим изгибом. Для учета дополнительного момента сопротивления пластическому изгибу внеконтактного элемента трубы предложена методика, заключающаяся в определении полного момента сопротивления пластическому изгибу внеконтактного элемента трубы с вальцами. В результате получено уравнение для определения среднеинтегрального приведенного предела текучести

$$\sigma_{sc}^* = \left[1 + \frac{r_k - \Delta s t}{2t} \beta_k (\beta_0 + \beta_k) \right] \text{ или } \sigma_{sc}^* = \sigma_s K_{qs}, \quad (6)$$

где r_k - радиус закруглений углов готовой трубы,

β_0, β_k - начальный и конечный углы изгибаемых участков,

K_{qs} - коэффициент сопротивления деформации.

В Уравнение приведенного предела текучести входит предел текучести σ_s , который определяется из таблиц для данных условий деформации.

Величина среднеинтегрального приведенного предела текучести, определенная по формуле (6), используется при решении уравнений энергетического баланса для определения мощности формоизменения.

Использование предложенной формулы для энергетических расчетов дает результаты, хорошо согласующиеся с экспериментальными данными.

Получены аналитические зависимости для определения удельного нормального давления при прокатке прямоугольных труб на участ-

ках формирования горизонтальной полки (ρ'_c) и вертикальной (ρ''_c)

$$\rho'_c = 4G_s \frac{t}{B_r} \sin \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{2} + \alpha_r - \alpha_s \right) \right] \sqrt{\frac{2}{6 + 9 \sin(\alpha_r + \alpha_s)}} \quad (7)$$

$$\rho''_c = 4G_s \frac{t}{B_s} \sin \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{2} + \alpha_s - \alpha_r \right) \right] \sqrt{\frac{2}{6 + 9 \sin(\alpha_r + \alpha_s)}} \quad (8)$$

где B_r, B_s - текущая ширина, соответственно горизонтальной (большой) и вертикальной (малой) сторон профиля,

α_r, α_s - центральные углы дуг, соответственно горизонтальной и (большой) и вертикальной (малой) сторон профиля.

При выводе формул (7) и (8) показано, что в процессе безотрабочной прокатки труб в калибрах любого типа неизбежно отклонение главных напряжений от тангенциального и радиального направлений. Определена величина касательной составляющей тензора напряжений в функции предела текучести и величины радиуса угла закруглений профиля, а значение этой функции учтено при составлении уравнения равновесия сил, использованного при выводе формул (7) и (8).

Конкретное решение уравнения взаимосвязи кинематических и динамических параметров процесса прокатки можно получить только имея достаточно точные аналитические зависимости для определения величины полной контактной поверхности F_n , её горизонтальной F_r и вертикальной F_s проекций.

На основе интегральных уравнений для определения контактной площади и её проекций в общем случае прокатки путем приближенного решения интегралов с использованием величин площадей внеконтактной и внутриочаговой деформации, определенных на основе экспериментов, получены следующие формулы

$$F_{n1} = 1,81 R_{r1} (R_i - 0,5 H_1) d_1 d'_1 \quad (9)$$

$$F_{r1} = 1,81 R_{r1} (R_i - 0,5 H_1) \sin d_1 \sin d'_1 \quad (10)$$

$$F_{s1} = R_{r0}^2 (d_0 - 0,5 \sin 2\alpha_0) - R_{r1}^2 (d_1 - 0,5 \sin^2 \alpha_1) \quad (11)$$

где R_i - идеальный радиус вала,

R_{r0}, R_{r1} - радиусы горизонтальной (большой) стороны профиля до и после прокатки в одной клети,

α_0 - угол захвата,

H_1 - высота калибра по вертикальной оси симметрии.

Для определения скорости v_1 выхода металла из валков в функции коэффициента вытяжки M_1 , среднего диаметра валков D_c , числа оборотов n и величины K , представляющей собой отношение зоны опережения к полной контактной площади, получена формула

$$v_1 = \frac{\pi n}{60} D_c [1 + K(M_1 - 1)]. \quad (12)$$

Уравнение (12) лежит в основе предложенной в работе методики определения числа оборотов валков при профилировании на станах с индивидуальным приводом валков или диаметра бочки валков на станах с групповым приводом валков.

Разработанная методика расчета скоростных режимов позволила осуществить штучное профилирование труб встык с задним подпором, благодаря чему был снижен расходный коэффициент металла за счет уменьшения обреза концов труб, которая обусловлена была потерей устойчивости концевых участков трубы.

Соотношение площадей зон опережения и всей контактной поверхности K определялось как из уравнения энергетического баланса, так и из уравнения равновесия сил при прокатке в калибре любой формы. Эти уравнения получены при расчете сил трения по законам Кулона и Зибеля.

Путем использования найденной зависимости для определения соотношения зон опережения и отставания получены простые формулы для определения момента и мощности прокатки.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВОЙ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ

Жесткие требования, предъявляемые к профильным трубам по геометрическим размерам, главным образом по прямизне шлоков и величине радиусов закруглений углов, в сочетании с необходимыми условиями уменьшения энергозатрат и затрат на изготовление инструмента, могут быть реализованы только при использовании калибровок валков, рассчитанных из условий выполнения всего комплекса требований.

При создании новых калибровок использовались как теоретические разработки, приведенные выше, так и широкий диапазон экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях.

Для определения оптимальной формы калибров был использован способ по а.с. № 527226, заключающийся в использовании принципа саморегулирования процесса в сторону затраты минимальной энергии. Оптимальная форма промежуточных калибров определялась при придании начальному и конечному поперечным сечениям круглой трубы из эластичного материала форм исходной круглой и готовой профильной трубы путем монтирования внутри трубы жестких сердечников соответствующей формы.

Исследование изменения формы поперечного сечения эластичных труб показало, что все промежуточные формы от исходного до готового сечений можно с достаточной точностью представить дугами, описанными тремя радиусами, с последовательным уменьшением радиусов закруглений углов по мере перехода к готовому профилю и увеличением радиусов полук. Такая форма калибров и была положена в основу новой калибровки.

Наиболее благоприятное изменение мощности формоизменения наблюдается при следующем законе уменьшения радиуса закругления углов калибра r_i в зависимости от радиуса закруглений углов калибра готовой трубы r_n , количества формоизменяющих клеток n и порядкового номера клетки i

$$r_i = r_n^x,$$
$$\text{где } X = \frac{\lg r_i}{\lg r_n} - \left(\frac{\lg r_i}{\lg r_n} - 1 \right) \left(\frac{1-i}{n-1} \right). \quad (13)$$

Этот закон и был использован при создании новой методики расчета калибровки валков.

Принятый закон уменьшения радиусов закруглений углов приводит к однозначности деформации по всему периметру профиля, что крайне необходимо для предотвращения разрушений металла при холодной прокатке.

Следует отметить, что применяемое при горячей прокатке профильных труб свободное уширение по углам профиля приводит к значительной деформации изгиба, что в условиях наклепа металла при холодном профилировании приводит к возникновению трещин на участках закруглений углов.

Важное значение для полного заполнения отделочного калибра, а следовательно и для точности готовых профильных труб, имеет правильный выбор диаметра исходной круглой трубы.

Проведенные экспериментальные исследования в широком диапазоне сортамента позволили установить следующую зависимость между коэффициентом относительного изменения периметра ϵ в процессе профилирования, наружного диаметра заготовки D_0 и исходной толщиной стенки t ,

$$\epsilon = \frac{t}{0,0147 D_0 + 0,065 t} \quad (14)$$

На основе этой зависимости получена формула для определения наружного диаметра исходной круглой трубы, использованная при создании методики расчета калибровки.

Исследование устойчивости поперечного сечения трубы показало резкое ухудшение условий устойчивости по мере увеличения радиуса полок калибров. Поэтому вполне закономерен режим уменьшения обжатия по ходу прокатки.

Естественно, что наиболее благоприятным решением вопроса предотвращения потери устойчивости, выражающейся в прогибе полок внутрь, является увеличение количества деформирующих клеток. Однако при таком решении вопроса увеличиваются затраты на изготовление инструмента и возрастает расход энергии на процесс профилирования. Кроме того, очень важным фактором расширения производства профильных труб является возможность использования существующих электросварочных агрегатов, предназначенных для производства труб только круглого сечения.

На основе теоретических исследований получена формула для определения коэффициента обжатия m_i по периметру в любой клетке в зависимости от среднего обжатия по периметру m_c за весь цикл формоизменения, общего количества клеток n и порядкового номера клетки i при условии равномерного изменения обжатия по клетям

$$m_i = \frac{m_c}{[1 - \lambda(m_c - 1)]^{n+1-i}} \quad (15)$$

где λ - коэффициент превышения относительного изменения периметра ϵ_i в первой клетке, сравнительно со средним относительным изменением периметра ϵ_n на одну клетку.

$$\lambda = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_c} - 1 = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_n}{\epsilon_1 + \epsilon_n} \quad (16)$$

(ϵ_n - относительное обжатие в последней клетке).

В результате анализа экспериментальных данных было установлено, что оптимальное количество формоизменяющих клеток, обеспечи-

ващее полную устойчивость, имеет место при $\lambda = 0,5$. После подстановки этого значения λ в уравнение для определения обжатия m_i в отдельной клетке получена формула, использованная в методике расчета калибровки.

Устойчивость профиля увеличивается при уменьшении обжатия горизонтальных полок, что позволяет при обычных требованиях по механическим свойствам металла готовых труб использовать постоянство длины горизонтальной полки во всех калибрах, перенося обжатие на вертикальную полку.

При жестких требованиях по равномерности механических свойств обжатие вертикальной полки следует принимать равным среднему обжатию по периметру калибра, перенося большую часть обжатия на горизонтальные полки.

При обеих системах калибровки длина дуг закруглений остается постоянной во всех формоизменяющих клетках.

При определении геометрических размеров калибров важное значение имеет выбор соотношений между центральными углами α_r и α_b дуг, ограничивающих полки калибра. Расчет калибровки валков и энергосиловых параметров намного упрощается при соотношениях этих углов $\alpha_r = \alpha_b$ или $\frac{\alpha_r}{\alpha_b} = \frac{R}{H}$ во всех калибрах (а.с. № 298402 и № 799844).

Зная величину соотношения дуг, радиусы закруглений углов и величину обжатия периметра по клеткам, из геометрических соотношений и обязательного условия сопряжения всех криволинейных участков калибра нетрудно вывести простые формулы для определения всех необходимых размеров калибров.

В результате использования совокупности теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчета калибровки валков для непрерывной безоправочной холодной прокатки прямоугольных или квадратных труб любого сортамента, представляющая собой последовательный ряд формул, по которым определяются все необходимые величины.

Методика разработана в двух вариантах:

1. для труб, соответствующих обычным требованиям стандарта;
2. для труб с равномерным распределением механических свойств по сечению.

Ниже приводится методика расчета по первому варианту с исходными данными B_k, H_k, R_k, t (ширина, высота, радиус закруглений углов и толщина стенки готовой прямоугольной трубы).

1. Определение наружного периметра готовой трубы

$$\Pi_k = 2(B_k + H_k) - 172 \text{ з.к.}$$

2. Определение диаметра исходной круглой трубы

$$D_0 = 0,16 \Pi_k - 19t + \sqrt{(41 \Pi_k t + (0,16 \Pi_k - 19t)^2)}$$

3. Расчет суммарного коэффициента обжата

$$m = \frac{\Sigma D_0}{\Pi_k}$$

4. Определение среднего коэффициента обжата на одну клету

$$m_c = \sqrt[m]{m}$$

5. Расчет частных коэффициентов обжатий во всех клетках

$$m_i = \frac{m_c}{(15 - 0,5 m_c)^{\frac{1}{15} - \frac{2}{15} i}}$$

6. Последовательный расчет периметра всех калибров

$$\Pi_i = \frac{\Pi_{i-1}}{m_i}$$

7. Выбор радиуса вертикальной дуги в первом калибре

$$R_{в1} = (40 \dots 15) D_0$$

8. Определение длины дуги горизонтальной стороны во всех калибрах

$$l_2 = 1,57 R_k$$

9. Определение длины дуги закругления углов

$$l_4 = B_k - 2z_k$$

10. Расчет длин дуг вертикальных сторон во всех калибрах

$$l_{в1} = 0,5 \Pi_1 - B_k - 114 \text{ з.к.}$$

11. Определение центрального угла вертикальной и горизонтальной сторон в первом калибре

$$\alpha_1 = \alpha_{в1} = \alpha_{г1} = \frac{l_{в1}}{R_{в1}}$$

12. Определение центрального угла закругления в первом калибре

$$\beta_1 = 0,5\pi - 2\alpha_1$$

13. Определение радиуса закругления угла в первом калибре

$$R_1 = \frac{1,57 R_k}{0,5\pi - 2\alpha_1}$$

14. Расчет радиуса закруглений углов во всех остальных калибрах

$$z_i = 2,1 \left(\frac{2z_k}{z_i} \right)^{1,16}$$

15. Расчет угла дуг закруглений во всех калибрах

$$\beta_i = 1,57 \frac{2z_k}{z_i}$$

16. Расчет центрального угла горизонтальной и вертикальной сторон во всех калибрах

$$d_i = 0,5(1,57 - \beta_i)$$

17. Расчет радиуса горизонтальных сторон во всех калибрах

$$R_{ri} = \frac{H_k - 2z_k}{2d_i}$$

18. Расчет радиуса вертикальных сторон во всех калибрах

$$R_{ai} = \frac{L_{ai}}{2d_i}$$

19. Определение высоты каждого калибра

$$H_i = 2[R_{ri} + (R_{ai} - z_i)\sin d_i - (R_{ri} - z_i)\cos d_i]$$

20. Определение ширины каждого калибра

$$B_i = 2[R_{ai} + (R_{ri} - z_i)\sin d_i - (R_{ai} - z_i)\cos d_i]$$

Все пункты методики расчета по второму варианту аналогичны приведенным выше, за исключением п.9 и п.10, которые содержат:

9. Определение длины дуги вертикальной стороны в первом калибре

$$L_{ai} = (H_k - 2z_k) \frac{\pi}{M_i}$$

10. Определение длины дуги вертикальных сторон в остальных калибрах

$$L_{ai} = \frac{L_{ai} - 1}{M_i}$$

10а. Расчет длины дуги горизонтальных сторон во всех калибрах

$$L_{ri} = 0,5M_i - 3,14z_k - L_{ai}$$

Разработанные методики позволяют рассчитывать калибровку для прокатки прямоугольных и квадратных труб любого сортамента в производственных условиях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫВЕДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Главной задачей экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных и производственных условиях, являлась отработка основных элементов технологии производства электросварных профильных труб. Наряду с этой задачей осуществлялись замеры ряда энергосиловых и кинематических параметров для последующего анализа точности выведенных в работе теоретических зависимостей. Записывались осциллограммы давления металла на валки, момента прокатки, фактических чисел оборотов, скорости входа и выхода трубы из валков, силы тока и напряжения на приводных двигателях как на экспериментальном оборудовании, так и в производственных условиях завода "Трубосталь" и Днепропетровского завода им. Ленина.

Производилось также торможение труб в валках с последующими замерами контактной площади и ее проекций во всех клетях непрерывного стана, замерялись распределение толщины стенки по периметру, величина пригиба полки и другие геометрические размеры.

В производственных условиях было замерено натяжение металла между клетями с помощью специального приспособления и записаны осциллограммы.

Экспериментальное исследование, проведенное на широком сортаменте прямоугольных и квадратных труб, показало, что точность разработанных аналитических зависимостей для определения различных параметров процесса профилирования вполне приемлема для их практического использования.

В процессе экспериментального исследования влияния различных параметров калибровки на качество готовых труб были разработаны рекомендации, реализованные в приведенной выше методике расчета калибровки валков.

Назревшая необходимость резкого увеличения производства профильных труб требует выработки обоснованных рекомендаций по выбору не только наиболее рационального способа производства труб, но и основных критериев оборудования для осуществления этого способа. В связи с этим в настоящей работе проводилось исследование влияния на качество труб и технологичность процесса профилирования ряда факторов: количества валков, образующих калибр, числа клетей, температурных и скоростных режимов процесса профилирования, режима деформации в связи с распределением механических свойств и других.

0195716

Экспериментальные и промышленные прокатки труб размерами 60x40мм, 60x60мм, 80x60мм, 60x30мм, 40x25мм, 28x25мм в широком диапазоне отношения толщины стенки к диаметру ($\frac{t}{D} = 0,01...0,1$) проведенные в двухвалковых клетях завода "Трубоасталь" и четырехвалковых клетях трубокатного завода им. Ленина, показали, что в обоих случаях при использовании предложенных калибровок обеспечивается выполнение требований действующих стандартов. Замеры энергосиловых параметров показали некоторое уменьшение момента и мощности прокатки в четырехвалковых клетях по сравнению с двухвалковыми клетями.

При исследовании влияния количества формоизменяющих клетей на качество труб было установлено, что оптимальное число клетей для производства прямоугольных труб равно четырем при условии наличия между приводными двухвалковыми клетями холостых вертикальных валков.

Исследование режимов деформации в вертикальных холостых валках показало, что наиболее рациональным режимом является минимальное обжатие в этих валках до величины, равной ширине по разьему последующего калибра. При таком режиме отпадает необходимость в придании поверхности вертикальных валков сложной конфигурации. Хорошее качество труб обеспечивается при гладкой цилиндрической поверхности этих валков (а.с. № 342707).

Проведенные исследования также показали наличие трещин по углам профиля при уменьшении радиуса закругления углов до $R_k < (15...17)t$, что является следствием наклепа металла и заставляет предусматривать в перспективе переход от холодного профилирования к горячему.

С целью выбора оптимальной температуры прокатки профильных труб была проведена серия исследований в лабораторных и производственных условиях, ставившая своей целью изучение механических свойств и структуры металла после деформации, склонности к образованию трещин, энергетических потерь и окалинообразования.

Было установлено, что оптимальная температура формоизменения находится в пределах 600...800 С°. При такой температуре нагрева наблюдается оптимальное сочетание пластических и прочностных характеристик, небольшое окалинообразование, улучшение заполнения углов профиля и исключение возможности трещинообразования по углам.

Переход на горячее профилирование электросварных труб можно осуществить путем дооборудования электросварочных агрегатов индукционными нагревателями и охлаждательными столами с кантующими устройствами для предотвращения искривления труб.

Исследования показали, что горячее профилирование в рекомендуемом диапазоне температур обеспечивает высокие показатели механических свойств без последующей термообработки.

На Ленинградском заводе "Трубосталь" внедрены разработанные в настоящей работе калибровки валков и скоростные режимы для получения электросварных труб размерами 60x40 мм, 60x30 мм, 40x25 мм, 28x25 мм, а на Днепропетровском трубопрокатном заводе им. Ленина для труб размерами 50x50мм, 60x60мм, 80x60мм, причем, трубам присвоено первая категория качества.

В процессе совершенствования технологии и внедрения разработок было сокращено количество формоизменяющих клетей с 9 до 4, что обеспечило снижение расходов на изготовление инструмента.

Трудности в точной настройке профилировочного стана с четырехвалковыми клетями удалось преодолеть путем использования специального устройства для настройки (а.с. № 350538).

В дальнейшем на Днепропетровском трубопрокатном заводе им. Ленина было освоено производство электросварных прямоугольных труб из низколегированной стали размерами 140x60мм, 80x40мм для автобусов ЛАЗ новой конструкции.

Годовой экономический эффект от внедрения результатов работы на трубоэлектросварочных агрегатах завода "Трубосталь" и Днепропетровского завода им. Ленина составил 227,8 тыс. рублей, из них 497,8 тыс. рублей составляет эффект от внедрения изобретений (а.с. № 298402, 312645, 342707, 350538, 527226, 719772), которые охватывают различные элементы технологии производства профильных труб.

Наряду с совершенствованием технологии холодной деформации электросварных профильных труб, являющейся основной темой настоящей работы, отдельные элементы работы использованы при освоении производства горячекатаных прямоугольных труб большого сечения на трубопрокатном агрегате "400" Руставского металлургического завода. Кроме того, на основе проведенных исследований выдано техническое задание на проектирование УралПРОМЕЗом участка профильных горячекатаных труб на трубопрокатном шпигриновом агрегате Северского трубопрокатного завода с ожидаемым эффектом 1 млн. 400 тыс. рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

I. В результате теоретических исследований процесса формоизменения круглых труб в профильные трубы на непрерывных безоправочных станах, проведенных с использованием уравнения энергетического

баланса и условия равновесия сил, получен ряд аналитических зависимостей для определения энергосиловых и кинематических параметров, использованных при совершенствовании технологии производства электросварных профильных труб.

2. В процессе теоретического анализа получены формулы для определения удельного и полного давления металла на валки, контактной площади и ее проекций, момента и мощности прокатки, скорости выхода металла из валков, числа оборотов и диаметра бочек валков. Аналитические зависимости получены с учетом взаимодействия участков металла находящегося в различном напряженно-деформированном состоянии.

3. Экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях, проведенные с осциллографированием энергосиловых и кинематических параметров, подтвердили пригодность выведенных зависимостей для практического использования.

4. В процессе экспериментальных исследований выявлено влияние различных параметров калибровки на качество готовых труб по геометрическим размерам, установлена взаимосвязь неравномерности напряженно-деформированного состояния и распределения механических свойств по сечению готовых профильных труб, выбрана оптимальная температура профилирования.

5. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана новая методика расчета калибровок валков для непрерывного холодного профилирования труб широкого сортамента, охватывающая все элементы расчета, включая определение исходных размеров крутой трубы, распределение деформаций по клетям, расчет геометрической формы и размеров калибров.

6. Выполненные исследования позволили усовершенствовать технологию производства электросварных профильных труб существовавшего сортамента и освоить производство прямоугольных и квадратных труб нового сортамента, в частности труб для автобусов Львовского автобусного завода новой конструкции.

7. Годовой экономический эффект от внедрения результатов работы в трубной промышленности составил 927,8 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации изложено в публикациях:

1. Матвеев Ю.М., Самарянов Ю.В., Губин А.И. Рациональная технология производства профильных труб на многоклетевых станах. "Сталь" 1972, №5, с. 438-440.

2. Самарянов Ю.В., Губин А.И. Определение рациональных границ температур профилирования труб. Сб. "Производство бесшовных труб" Металлургия, 1972, №1, с. 15-19.

3. Освоение производства прямоугольных и квадратных электро-сварных труб на агрегате 60-152 / А.Н.Кириченко, А.И.Губин, В.М.Леонов, И.П.Иванов. - Бюллетень ЦТИ, 1977, № 13, с.30-31.

4. Выдрин В.Н., Губин А.И., Кириченко А.Н. Мощность формоизменения при профилировании закрытых профилей. В кн.: Совершенствование процессов продольной прокатки труб. Челябинск, 1980, с.67-68.

5. Кириченко А.Н., Выдрин В.Н., Губин А.И. Условия энергетического баланса при продольной прокатке труб и сплочных заготовок. В кн.: Совершенствование процессов продольной прокатки труб. Челябинск, 1980, с.69-71.

6. Особенности технологии производства прямоугольных труб для тракторостроения на автоматическом агрегате "400" / А.Н.Кириченко, А.Н.Церетели, Д.М.Харадзе, А.И.Губин и др. В кн.: Совершенствование процессов продольной прокатки труб. Челябинск, 1980, с.225-227.

7. А.с. № 298403 (СССР). Способ прокатки труб. Авт. изобрет. А.И.Губин, Ю.В.Самарянов. Оpubл. в Б.И., 1971, № 11.

8. А.с. № 312645 (СССР). Способ получения профильных труб. Авт. изобрет. А.И.Губин, Ю.В.Самарянов. Оpubл. в Б.И., 1971, № 26.

9. А.с. № 342707 (СССР). Калибры клетей трубопрофильного стана. Авт. изобрет. Ю.В.Самарянов, А.И.Губин, Н.С.Карзов, М.С.Рыбаков. Оpubл. в Б.И., 1972, № 20.

10. А.с. № 350538 (СССР). Приспособление для настройки профильного стана. Авт. изобрет. Ю.В.Самарянов, А.И.Губин, М.А.Шубик, В.Г.Чус. Оpubл. в Б.И., 1972, № 27.

11. А.с. № 527226 (СССР). Способ определения формы калибров для непрерывного профилирования на стане труб или гнутых профилей. Авт. изобрет. А.И.Губин, А.Н.Кириченко, В.М.Леонов, Д.М.Харадзе. Оpubл. в Б.И., 1976, № 33.

12. А.с. № 719772 (СССР). Валковые калибры. Авт. изобрет. А.Н.Кириченко, А.И.Губин, Н.К.Худяков, П.А.Церетели, Р.А.Тхелидзе. Оpubл. в Б.И., 1980, № 9.