

76.05 43)
8.91

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

1
ОБРАЗОВАНИЕ
ЧЕЛЯБИНСК

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ Эрик Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТРУБНОЙ
ЗАГОТОВКИ НА СТАНАХ НЕПРЕРЫВНОЙ
ПЕЧНОЙ СВАРКИ ТРУБ

Специальность № 05.16.05 -
"Обработка металлов давлением"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск
1980

Работа выполнена на Челябинском ордена Ленина трубопрокатном заводе.

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

Официальные оппоненты: лауреат Государственной премии СССР, доктор технических наук, профессор В.Я. ОСАДЧИЙ,
кандидат технических наук
Е.М. ХАЛАМЕЗ.


Ведущее предприятие — Северский трубный завод имени Ф.А. Меркулова.

Защита состоится " ____ " _____ 1980 г., в ____ часов, на заседании специализированного совета К-053.13.03 по присуждению учёной степени кандидата технических наук в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола по адресу: 454044, г. Челябинск, проспект имени В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1980 г.

Учёный секретарь специализированного совета К-053.13.03, кандидат технических наук, доцент

 О.К. Токовой

Актуальность работы. Пятилетним планом развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы наряду с дальнейшим ростом темпов производства и расширением сортамента предусматривается коренное улучшение качества продукции чёрной металлургии. Трубная промышленность является одной из важнейших отраслей чёрной металлургии. Современные агрегаты непрерывной печной сварки труб представляют собой высокопроизводительные трубосварочные установки. Способ производства труб на агрегатах непрерывной печной сварки включает печной нагрев полосы (штрипса), формовку трубной заготовки, сварку кромок и последующее редуцирование заготовки до заданного конечного размера трубы.

Операции формовки и сварки трубной заготовки, осуществляемые в двух клетях, являются важнейшими, от которых зависят качество сварного шва, производительность агрегата, возможность получения тонкостенных труб, расход металла. Совершенствование процесса формовки трубной заготовки позволит не только улучшить качество сварного шва труб, снизить брак, но также даст возможность вскрыть дополнительные резервы повышения производительности за счет увеличения ширины штрипсов и создаст условия для уменьшения толщины исходной заготовки и готовых труб в целях экономии металла. Поэтому исследование и совершенствование процесса формовки на станах печной сварки труб является актуальной задачей.

Цель работы. Целью настоящей работы является совершенствование технологии формовки трубной заготовки и улучшение качества труб. Для достижения этой цели поставлена задача:

- исследовать деформированное состояние трубной заготовки в процессе непрерывной валковой формовки;
- исследовать условия устойчивости процесса формовки;
- разработать методику расчета оптимальной технологии формовки.

Научная новизна. Впервые сформулированы критерии устойчивости процесса формовки при печной сварке труб.

Получена теоретическая зависимость для определения продольной деформации срединной поверхности формируемой заготовки для общего случая формовки при печной сварке труб.

Получены теоретические зависимости, определяющие изменение кривизны срединной дуги поперечных сечений заготовки по длине внеконтактных участков очага деформации.

Впервые выполнен количественный и качественный анализ влияния параметров процесса формовки на его устойчивость.

Практическая ценность. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по выбору оптимальных параметров процесса формовки. Разработаны алгоритм и программа расчета оптимальных параметров процесса формовки для действующих станов печной сварки труб. Использование результатов работы позволяет повысить устойчивость процесса формовки, улучшить качество сварного шва труб, применять штрипсы с увеличенной шириной и уменьшенной толщиной с целью увеличения производительности и снижения расхода металла. Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых и реконструкции действующих станов печной сварки труб.

Реализация работы. Результаты работы использованы для совершенствования технологии производства водогазопроводных труб на станах печной сварки 1/2"- 2" и 1/2"- 3" Челябинского трубопрокатного завода. Совершенствование калибровок формовочно-сварочных валков повысило устойчивость формовки, что дало возможность внедрить кислородную обдувку кромок заготовки, повысить прочность и стабильность качества сварного шва труб и аттестовать трубы по высшей категории качества. Повышение устойчивости формовки позволило применять штрипсы с уменьшенной толщиной и выпускать трубы с уменьшенной массой погонного метра. При прокатке труб с условным проходом 20 мм на стане 1/2"- 3" внедрен штрипс 200 x 2,6 мм взамен штрипса 160 x 2,7 мм. Экономический эффект от внедрения результатов работы по двум цехам ЧТПЗ составил 285 тысяч рублей.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены автором на:

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

2. XXXII научно-технической конференции Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола. Челябинск, 1979 год.

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

5. Научно-техническом семинаре кафедры прокатки Челябинского политехнического института. Челябинск, 1980 год.

Публикация. Основное содержание работы опубликовано в пяти статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести разделов, основных выводов, семи приложений; содержит 107 страниц машинописного текста, 42 иллюстрации, 3 таблицы. Библиографический список включает 61 наименование.

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ

В работе предложено оценивать процесс формовки по четырем критериям устойчивости.

Основной причиной нарушения устойчивости процесса формовки является возникновение гофров на кромках формируемой заготовки.

Исходя из энергетического механизма возникновения гофров предложен первый критерий устойчивости η_1 : гофры не возникают, если удельная работа деформации изгиба в поперечном направлении элементарного объема, прилегающего к кромке, превышает удельную работу продольного сжатия этого же элементарного объема.

Полагая, что возникшие гофры незначительной величины могут быть выправлены за счет натяжения кромок перед сварочной клетью, сформулирован второй критерий устойчивости η_2 : деформация продольного растяжения кромок перед сварочной клетью должна превышать по абсолютной величине максимальную деформацию продольного сжатия кромок на участке после первой клетки.

Для того, чтобы не происходило смещения и нахлеста кромок, необходимо обеспечить их стыковку в зоне контакта заготовки с поверхностью вала сварочной клетки — третий критерий устойчивости η_3 .

Во избежание подреза боковых сторон заготовки ребрами валков сварочной клетки и "расформовки" необходимо положительное уширение заготовки в контактной зоне сварочных валков — четвертый критерий устойчивости η_4 .

Для вычисления критериев устойчивости необходимо определить деформацию кромок, а также форму и размеры внеконтактных и контактных участков очага деформации. Эти величины зависят от следующих параметров: размеров поперечного сечения полосы, размеров калибров валков, расстояния между клетями, натяжения при формовке, смещения оси полосы и осей калибров, диаметра валков.

ДЕФОРМАЦИЯ ФОРМУЕМОЙ ЗАГОТОВКИ

Для построения приближенной модели формовки, пригодной для решения поставленной задачи, приняты упрощающие гипотезы:

1. Нормали к срединной поверхности (поверхности, равноудаленной от наружных поверхностей полосы) до деформации остаются нормальными и после деформации (постулат Кирхгофа - Дява).

2. Материал заготовки находится в жестко-пластическом состоянии.

3. Пересечение срединной поверхности заготовки с плоскостью, перпендикулярной к оси полосы, имеет вид однокруговой дуги.

4. Длина срединной линии в любом сечении, перпендикулярном к оси полосы, остается постоянной.

5. Поперечные сечения, плоские и перпендикулярные к оси полосы до деформации, остаются плоскими и перпендикулярными к этой оси после деформации.

Координаты произвольной точки срединной поверхности в текущей системе координат x, y, z можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0, \\ y &= \frac{\sin(\nu K)}{K}, \\ z &= \frac{1 - \cos(\nu K)}{K} - z_0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x_0, z_0 - координаты точек центрального волокна; K - кривизна срединной дуги поперечного сечения заготовки;

u, ν - начальные координаты точек срединной поверхности.

Расстояние между двумя близлежащими точками срединной поверхности на u - линии в текущей системе координат

$$ds_u = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial u}\right)^2} du, \quad (2)$$

а продольная деформация вычисляется по зависимости

$$\epsilon_u = \frac{ds_u - du}{du} = \frac{ds_u}{du} - 1. \quad (3)$$

Вычислив частные производные текущих координат (1) по параметру u и принимая во внимание зависимости (2) и (3), в сокращенной записи получили

$$\epsilon_u = \sqrt{\lambda^2 + F(\nu)} - 1, \quad (4)$$

где $\lambda = ds_0/du$ - удлинение центрального волокна;

$F(\nu)$ - функция, зависящая от параметра ν .

В двух точках половины ширины полосы на расстоянии b_1 и b_2 от центрального волокна продольная деформация равна нулю, поэтому из формулы (4) следует

где $\lambda^2 = 1 - F$, (5)
 F - линейная функция, включающая точки с координатами
 $[b_1, F(b_1)] ; [b_2, F(b_2)]$.

Определив величину F из уравнения прямой, проходящей через указанные точки, с учетом зависимостей (4) и (5) получили

$$\epsilon_u = \sqrt{1 + F(u) - F(b_1) - \frac{u - b_1}{b_2 - b_1} [F(b_2) - F(b_1)]} - 1. \quad (6)$$

Из условия равенства нулю суммы проекций на ось X всех сил, приложенных к внеконтактному участку заготовки, получили

$$b_2 - b_1 = 0,25 b(1 - n), \quad (7)$$

где $n = \sigma_{zn} / \sigma_T$ - коэффициент натяжения при формовке; σ_{zn} - удельное заднее натяжение; σ_T - предел текучести материала полосы.

Из условия равенства нулю суммы моментов всех сил, действующих на внеконтактный участок заготовки, получили

$$\sin(b_2 K) - \sin(b_1 K) = A, \quad (8)$$

где $A = 0,5(1 - m)(1 - n) \sin(0,5 b K) + m \sin B$,

$$B = 0,25 b K(1 - n),$$

$m = f / z_{цт}$ - коэффициент смещения; f - смещение оси полосы относительно центра тяжести срединной дуги поперечного сечения заготовки; $z_{цт}$ - расстояние от центра тяжести срединной дуги до ее центра; b - ширина полосы.

Введя обозначение коэффициентов ширины зон с разным знаком продольной деформации

$$\varphi = 2b_1/b, \quad \psi = 2b_2/b = \varphi + 0,5(1 - n),$$

из совместного решения уравнений (7) и (8) получили

$$\varphi = \frac{\arcsin \left[\sqrt{\frac{A^2}{4} + \frac{\sin^2 B - A^2}{2(1 - \cos B)}} - \frac{A}{2} \right]}{0,5 b K}. \quad (9)$$

После введения для удобства записи обозначений составляющих функций $F(u)$, $F(b_1)$, $F(b_2)$ в формуле (6)

$$S_v = [vK - \sin(vK)]^2 + [1 - \cos(vK)]^2,$$

$$T_v = vK \sin(vK) + \cos(vK),$$

$$S_1 = S_v \text{ и } T_1 = T_v \text{ при } v = b_1; S_2 = S_v \text{ и } T_2 = T_v \text{ при } v = b_2,$$

$$W = 2(1-m) \left[2 \frac{\sin(0,5bK)}{0,5bK} - \cos(0,5bK) - 1 \right]$$

получено окончательное выражение для продольной деформации

$$\epsilon_u = \sqrt{1 + \frac{(K')^2}{K^4} \left\{ S_v - S_1 - W(T_v - T_1) - \frac{v - b_1}{b_2 - b_1} [S_2 - S_1 - W(T_2 - T_1)] \right\}} - 1. \quad (10)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ВНЕКОНТАКТНЫХ УЧАСТКОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ

Форма заготовки после деформации полосы определена с использованием вариационного метода. Для постановки вариационной задачи служит начало возможных изменений деформированного состояния (начало Лагранжа). Внеконтактный участок, выделенный из общего очага деформации, находится в равновесии под воздействием внутренних сил, заменяющих воздействие контактных участков. Поэтому работа внешних сил не варьируется, а форма внеконтактного участка определится из условия минимума работы внутренних сил деформации.

Из выполненного в работе анализа напряженно-деформированного состояния формуемой заготовки следует, что среднее по толщине полосы продольное напряжение σ_u примерно равно среднему по толщине полосы напряжению от изгиба σ_v . Поэтому принимается допущение, что работа внутренних сил равна сумме работ продольной деформации и деформации изгиба.

Внеконтактный участок перед первой клетью. Для половины ширины полосы удельная работа изгиба поперечного элемента

$$dA_v = 0,125 \sigma_r h^2 b k du, \quad (11)$$

где h - толщина полосы.

Удельная работа продольного растяжения-сжатия поперечного элемента полосы

$$dA_u = \sigma_u h du \left(\int_0^{b_1} \epsilon_v dv - \int_{b_1}^{b_2} \epsilon_v dv + \int_{b_2}^{0,5b} \epsilon_u dv \right)$$

С использованием зависимости (10) после интегрирования и преобразований получено

$$dA_u = 2^3 \sigma_T h b^5 (K_1')^2 (P + QbK - Rb^2K^2) du, \quad (12)$$

где K_1' - производная кривизны срединной дуги поперечного сечения заготовки на участке перед первой клетью;

$P = P(\varphi, \psi)$, $Q = Q(\varphi, \psi)$, $R = R(\varphi, \psi)$ - коэффициенты, полученные после интегрирования с использованием аппроксимации составляющих функций подкоренного выражения в формуле (10).

Работа внутренних сил при деформации

$$A_{\text{вн}} = \int_0^{l_1} (dA_u + dA_v) = 2^3 \sigma_T h b^5 \int_0^{l_1} [Kh + 2^4 b^4 (K_1')^2 (P + QbK - Rb^2K^2)] du,$$

где l_1 - длина внеконтактного участка перед первой клетью.

Полученное выражение является функционалом, минимум которого реализуется на искомой функции $K = K(u)$. Первый интеграл Эйлера для функционалов, не содержащих аргумента, равен

$$K_1' = \frac{4}{b^2} \sqrt{\frac{Kh}{P + QbK - Rb^2K^2}}. \quad (13)$$

После разделения переменных и интегрирования получена зависимость, определяющая изменение кривизны срединной дуги поперечных сечений заготовки по длине внеконтактного очага деформации

$$u_1 = \frac{b^2}{4} \sqrt{\frac{K}{Ph}} \left(2P + \frac{Q}{3} bK - \frac{R}{5} b^2 K^2 \right). \quad (14)$$

При подстановке граничного значения кривизны K_1 вычисляется полная длина внеконтактного участка перед первой клетью l_1 .

Очаг деформации между клетями. В зависимости от межклетевого расстояния очаг деформации между клетями может иметь три состояния. При достаточно большом (неограниченном) межклетевом расстоянии этот очаг в свою очередь состоит из внеконтактного участка после первой клетки - $l_{\text{н}}$, цилиндрического участка - $l_{\text{ц}}$ и внеконтактного участка перед второй клетью - $l_{\text{н}}$. При ограниченном межклетевом расстоянии цилиндрический участок отсутствует, а внеконтактные участки имеют общую границу, на которой производная кривизны отлична от нуля. При дальнейшем уменьшении межклетевого расстояния внеконтактный участок перед второй клетью распространяется

на весь межклетевой промежуток.

На участке после первой клетки для первого случая состояния межклетевого очага деформации зависимости для определения кривизны срединных дуг сечений заготовки по длине участка и производной кривизны получены из решения функционала, определяющего работу внутренних сил при деформации на данном участке и имеют вид

$$K'_{II} = \frac{4}{b^2} \sqrt{\frac{(K_{1-2} - K)h}{P + QbK - Rb^2K^2}}, \quad (15)$$

$$u_{II} = -\frac{b^2}{4} \sqrt{\frac{K_{1-2} - K}{Ph}} \left[2P + \frac{Q}{3} b(K + 2K_{1-2}) - \frac{R}{15} b^2 \times \right. \\ \left. \times (3K^2 + 4KK_{1-2} + 8K_{1-2}^2) \right] + C_2, \quad (16)$$

где K_{1-2} - кривизна срединной дуги сечения заготовки в конце участка после первой клетки, равная кривизне заготовки в начале участка перед второй клетью и вычисляется по зависимости

$$K_{1-2} = K_B + (K'_B)^2 \frac{b^4}{16h} (P + QbK_B - Rb^2K_B^2), \quad (17)$$

где K_B, K'_B - кривизна заготовки и ее производная в сечении на выходе заготовки из валков первой клетки. Постоянная интегрирования определяется по начальным условиям $u_{II} = 0, K = K_B$.

Для участка l_{III} очага деформации аналогично получено

$$K'_{III} = \frac{4}{b^2} \sqrt{\frac{(K - K_{1-2})h}{P + QbK - Rb^2K^2}}, \quad (18)$$

$$u_{III} = \frac{b^2}{4} \sqrt{\frac{K - K_{1-2}}{Ph}} \left[2P + \frac{Q}{3} b(K + 2K_{1-2}) - \frac{R}{15} b^2 \times \right. \\ \left. \times (3K^2 + 4KK_{1-2} + 8K_{1-2}^2) \right]. \quad (19)$$

Подобным образом получены зависимости для остальных случаев состояния межклетевого очага деформации. Для второго случая кривизна срединной дуги сечения заготовки на общей границе участков l_{II} и l_{III} находится из решения уравнения

$$l_{II} + l_{III} = L_{1-2} + l_B - l_{2K}, \quad (20)$$

где $L_{1,2}$ - расстояние между осями клеток; l_B - расстояние от конца контактного участка заготовки в первой клетке до ее оси; l_{2K} - длина контактного участка заготовки во второй клетке.

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ВНЕКОНТАКТНЫХ УЧАСТКОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ

Граничные условия на входе первой клетки. Для расчета граничных условий форма поперечного сечения очага деформации принимается овальной, в виде двух дуг со смещенными центрами. Из условия равенства координат точки контакта на поверхности валка и поверхности заготовки получено

$$\cos \theta_1 = \frac{0,5 D_1 K_{01} - \sin V + \sin \alpha_0}{K_{01} [R_1 + 0,5 h + r_1 (1 - \cos \alpha_1)]}, \quad (21)$$

где θ_1 - угол захвата заготовки по кромке; D_1 - диаметр бочки валка первой клетки; K_{01} - кривизна овального сечения;

$V = 0,5 b K_{01} + \alpha_0$ - сокращенное обозначение; $2\alpha_0$ - угол неполноты полуовала до π ; R_1 - радиус валка по дну калибра; r_1 - радиус калибра; $2\alpha_1 + \pi$ - уголгиба заготовки в плоскости начального контакта кромок заготовки с валками первой клетки.

Из условия общей касательной к поверхности валка и заготовки в точке контакта получено

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta_1 = & K'_{01} K_{01}^{-2} (\sin V - \sin \alpha_0 - 0,5 b K_{01} \cos V) + \\ & + \frac{4 \xi_1 \xi'_1}{K_{01} (\xi_1^2 + 1)^2} (1 - \cos V), \end{aligned} \quad (22)$$

где ξ_1, ξ'_1 - коэффициент овализации сечений и его производная. Расстояние от сечения входа до оси клетки вычисляли по зависимости

$$l_1 = [R_1 + 0,5 h + r_1 (1 - \cos \alpha_1)] \sin \theta_1. \quad (23)$$

Решение системы уравнений (13), (21), (22), (23) позволяет вычислить величины K_1, K'_1, l_1, θ_1 .

Граничные условия на выходе первой клетки. За условную границу контактного очага на выходе первой клетки принято сечение, определяемое центральным углом θ_B :

$$\theta_B = \mu \theta_1 (1 - n), \quad (24)$$

где $\mu = 1$ - коэффициент, который может быть определен экспери-

ментально. Используя зависимости, аналогичные зависимостям (21), (22) и (23) можно вычислить величины K_B , K'_B , l_B .

Граничные условия на входе сварочной клетки. Из условия равенства координат точки контакта и общей касательной получены зависимости для определения угла захвата по кромкам θ_2

$$\cos \theta_2 = 1 - \frac{2\sqrt{\xi_2} - \frac{b^2}{2\pi^2(B_2-h)}}{R_2 + 0,5h}, \quad (25)$$

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{2K'_2 \xi_2 - K_2 \xi'_2}{K_2^2 \sqrt{\xi_2}}, \quad (26)$$

где ξ_2, ξ'_2 - коэффициент овализации и его производная в сечении захвата; K_2, K'_2 - кривизна срединной дуги в сечении захвата и ее производная; B_2 - ширина калибра сварочной клетки.

Длина контактного участка может быть определена по формуле

$$l_{2K} = (R_2 + 0,5h) \sin \theta_2. \quad (27)$$

По аналогичной зависимости вычисляется и расстояние от точки схода кромок до оси клетки. Коэффициент ξ_2 вычисляется по зависимости

$$\xi_2 = \frac{b^2}{2\pi^2(B_2-h)^2} + \frac{D_2 - 2\sqrt{(R_2 + 0,5h)^2 - l_{2K}^2}}{2(B_2-h)},$$

дифференцированием которой по l_{2K} получается зависимость для ξ'_2 .

Для нахождения величин $K_2, K'_2, l_{2K}, \theta_2$ решается система уравнений (19), (25), (26), (27) совместно с зависимостями для ξ_2 и ξ'_2 .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ

Для оценки погрешности математической модели процесса формовки необходимо экспериментально проверить две основные группы теоретических зависимостей: зависимости для расчета продольной деформации и зависимости для расчета формы и размеров внеконтактных участков очага деформации. В работе была предпринята попытка измерения продольной деформации с использованием метода координатных сеток. Обработка результатов измерений показала, что погрешность оказалась сопоставимой с величиной измеренных деформаций. Ввиду недостоверности результаты измерений продольной деформации в работе не приводятся.

Для экспериментальной проверки второй группы зависимостей производили измерения заторможенных на станах 1/2"- 2" и 1/2"- 3" сформованных заготовок. После остывания на поверхности заготовок размечали поперечные сечения, перпендикулярные к оси штрипса, а затем измеряли координаты точек на кромках и центральном волокне по этим же сечениям. Измеряли также ширину заготовок в сечениях межклетевого промежутка. По измеренным величинам вычисляли: коэффициент овализации сечений, среднюю кривизну дуг сечений, коэффициент смещения. На основании экспериментальных данных подобраны эмпирические зависимости для расчета коэффициента овализации поперечных сечений заготовки по длине очага формовки. Установлено численное значение коэффициента в формуле (24): $\mu = 0,75$. Сопоставление расчетных размеров очага деформации с фактическими показало, что максимальная погрешность кривизны дуг сечений на межклетевом промежутке не превышает 3%. Сходимость расчетных и фактических координат точек на кромках, центральном волокне и боковой образующей - хорошая. Учитывая, что зависимости для расчета формы и размеров очагов деформации получены на основании зависимостей, определяющих деформацию заготовки, хорошая сходимость расчетных и фактических размеров очага деформации косвенным образом подтверждает правильность теоретических зависимостей для продольной деформации. Общий характер распределения продольной деформации по длине и ширине формируемой полосы показан на рис. 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ

В целях количественной и качественной оценки влияния параметров процесса формовки на его устойчивость разработана программа расчета на алгоритмическом языке Фортран, реализованная на ЭВМ ВС 1022. Базовое сочетание параметров: $b = 360$ мм;

$h = 3,4$ мм; $m = 0$; $n = 0,1$; $L_{1-2} = 541$ мм; $D_1 = 370$ мм; $D_2 = 350$ мм; $H_1 = 185$ мм; $B_1 = 212$ мм; $H_2 = 114$ мм; $B_2 = 116$ мм;

Диапазон варьирования параметров: b - от 300 до 400 мм;

h - от 2 до 6 мм; m - от 0 до 1; n - от 0 до 0,8; L_{1-2} - от 300 до 700 мм; D_1 и D_2 от 330 до 410 мм; ξ_1 и ξ_2 - от 1 до 1,2; угол гиба заготовки в первой клетке - от 196° до 228° .

Предложенные в работе критерии устойчивости записаны в виде

$$\eta_1 = \frac{hK_{1,2}}{4|\xi_{1,2}|} > 1, \quad \eta_2 = \frac{\epsilon_2}{|\xi_{1,2}|} > 1,$$

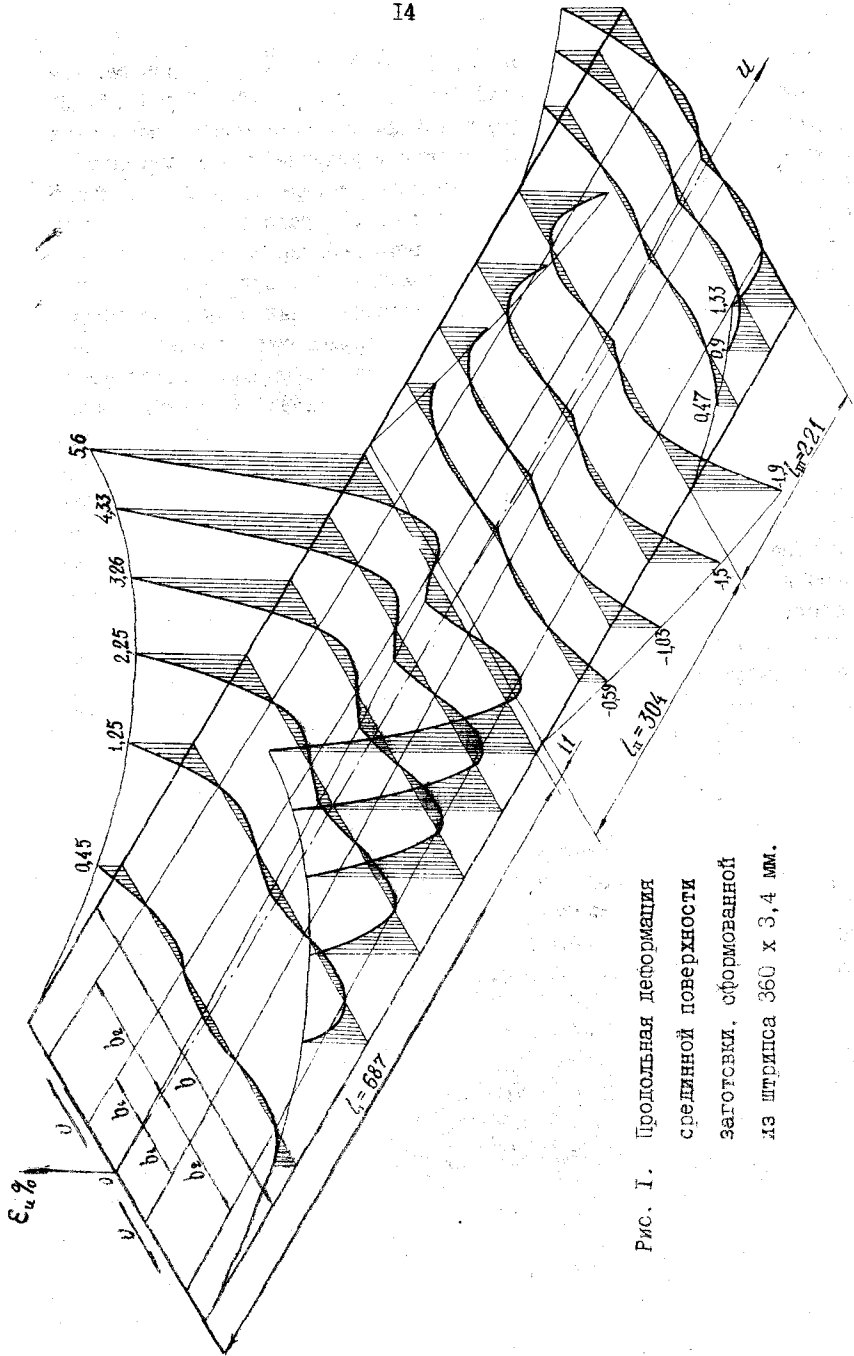


Рис. I. Продольная деформация
 средней поверхности
 заготовки, сформованной
 из штрипса 360 x 3,4 мм.

$$\eta_3 = \frac{l_{2k}}{l_{ck}} \geq 1, \quad \eta_4 = \frac{K|\xi'|}{2K'\xi} \geq 1,$$

где ξ_2 - продольная деформация кромок в сечении захвата в сварочной клетке; $\xi_{1,2}$ - продольная деформация кромок в конце участка $l_{ц}$. На рис. 2. показана зависимость критериев устойчивости от межклетевого расстояния, на рис. 3. - от углагиба в первой клетке.

Анализ результатов расчетов показывает следующее.

1. Увеличение натяжения существенно увеличивает устойчивость против гофрообразования, а также против нахлеста и смещения кромок, но снижает устойчивость по подрезу.

2. При ограниченном межклетевом расстоянии увеличение смещения до $m = 0,4$ снижает устойчивость против гофрообразования, а затем устойчивость по этим критериям возрастает. Устойчивость против нахлеста кромок снижается с увеличением смещения. Критерий устойчивости по подрезу имеет максимум при $m = 0,4$. При неограниченном межклетевом расстоянии увеличение смещения снижает устойчивость по нахлесту кромок и почти не влияет на остальные критерии.

3. По характеру воздействия уменьшение межклетевого расстояния и углагиба заготовки в первой клетке аналогично увеличению натяжения, но степень воздействия меньше.

4. Увеличение ширины штрипса при ограниченном межклетевом расстоянии увеличивает устойчивость против гофрообразования, но снижает устойчивость по подрезу. При неограниченном межклетевом расстоянии увеличение ширины штрипса практически не влияет на устойчивость против гофрообразования, снижает устойчивость по нахлесту и увеличивает устойчивость по подрезу.

5. Уменьшение толщины штрипса при ограниченном межклетевом расстоянии увеличивает устойчивость против гофрообразования и нахлеста кромок, но снижает устойчивость по подрезу. При неограниченном межклетевом расстоянии уменьшение толщины штрипса снижает устойчивость по всем критериям.

6. Увеличение коэффициента овализации калибров почти не снижает устойчивость против гофрообразования и нахлеста кромок, но повышает устойчивость по подрезу, причем овализация первого калибра влияет на устойчивость по подрезу существеннее.

7. Увеличение диаметра валков первой клетки снижает устойчивость по подрезу и почти не влияет на остальные критерии.

8. Увеличение диаметра валков сварочной клетки увеличивает устойчивость по нахлесту кромок и подрезу и не влияет на устойчи-

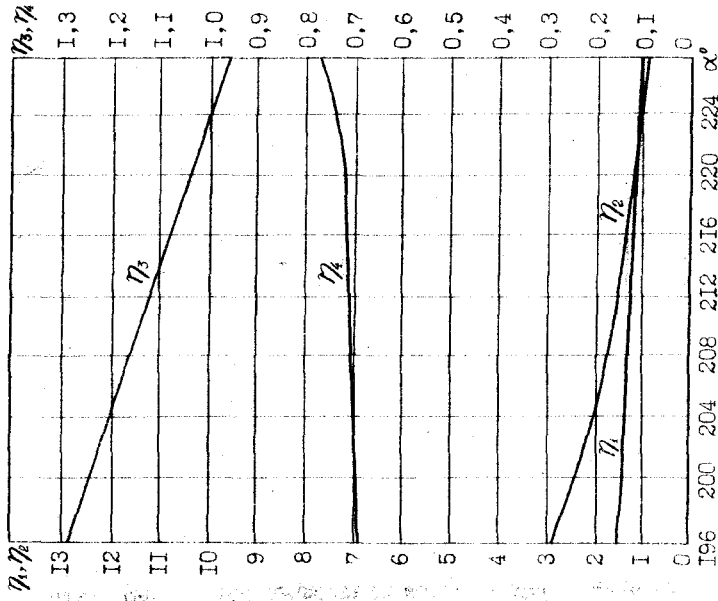


Рис. 3. Зависимость критериев устойчивости

от угла гйба заготовки в первой клеткн.

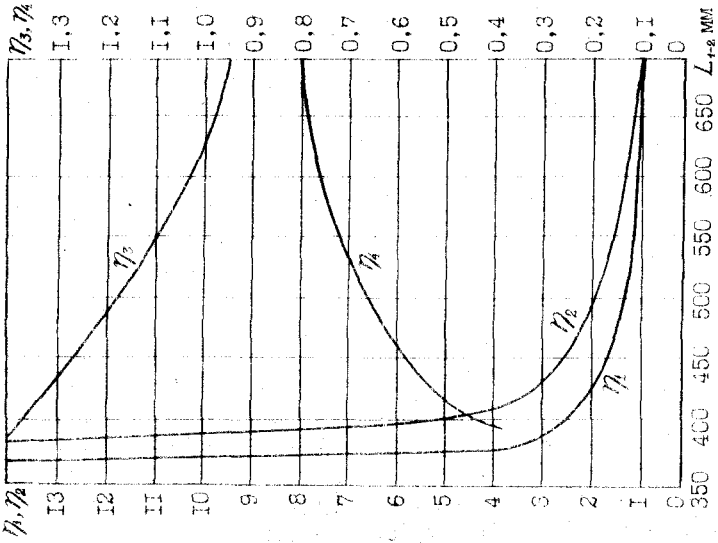


Рис. 3. Зависимость критериев устойчивости

от межклетечевого расстояннн.

вость по гофрообразованию в исследуемых пределах диаметра валков.

На основании выполненного анализа разработаны следующие рекомендации по выбору параметров процесса формовки.

При проектировании новых станков

1. Необходимо увеличивать натяжение при формовке за счет, например, применения загрузки штрипса в нагревательную печь "тройной" петлей.

2. Межклетевое расстояние необходимо выбирать минимально возможным так, чтобы в межклетевом промежутке не возникал цилиндрический участок очага деформации.

3. Диаметр валков первой клетки следует выбирать минимальным, а диаметр валков сварочной клетки — максимальным.

Для действующих станков

1. Наиболее выгодная настройка стана по смещению оси штрипса и осей калибров такова, чтобы центры тяжести поперечных сечений заготовки лежали на одной прямой, совпадающей с осью штрипса. Эта рекомендация впервые была дана Ю. А. Медниковым.

2. При наличии поддерживающего ролика перед первой клетью в целях устранения неустойчивости, вызываемой ребровой кривизной штрипса, коэффициент смещения необходимо увеличивать до 0,3...0,4.

3. При заданном межклетевом расстоянии и заданных размерах поперечного сечения штрипса повышение устойчивости процесса формовки против гофрообразования, нахлеста кромок и их смещения можно достигнуть за счет уменьшения углагиба заготовки в первой клетке.

4. Устойчивость формовки против подреза боковых сторон заготовки можно повысить увеличением овализации формовочно-сварочных калибров без ухудшения устойчивости по остальным критериям.

Для расчета оптимальных параметров процесса формовки на действующих станках программа, составленная для исследования математической модели, дополнена условиями пошагового изменения углагиба заготовки в первой клетке и коэффициентов овализации калибров до получения значений критериев устойчивости больше единицы.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ

При внедрении кислородной обдувки кромок с целью повышения прочности сварного шва труб печной сварки потребовалось повысить устойчивость процесса формовки. Расчеты показали, что в случае отказа от направляющего ножа для всего основного сортамента применяемых на станках 1/2"-2" и 1/2"-3" штрипсов формовка неустой-

чива из-за возникновения гофров и преждевременной стывковки кромок, что подтверждено при проведении опытных прокаток без направляющего ножа. В таблице приведены результаты расчета по выбору оптимальных параметров формовки для станов 1/2"- 2" и 1/2"- 3" Челябинского трубопрокатного завода.

Стан	Размеры штрипса, мм		Угол гиба	Критерии устойчивости			
	ширина	толщина		η_1	η_2	η_3	η_4
1/2"- 3"	160	2,7	214°	0,9	1,0	1,3	1,0
	200	2,6	220°	1,0	1,0	1,0	1,0
	220	3,1	225°	1,0	1,0	1,0	1,0
	290	3,3	246°	1,3	1,0	1,0	1,0
	320	3,7	250°	1,6	1,4	1,1	1,0
1/2"- 2"	360	3,4	221°	0,9	1,2	1,0	1,0

Усовершенствованные калибровки формовочно-сварочных валков внедрены для всех размеров штрипсов, применяемых на заводе. За счет повышения устойчивости формовки и внедрения кислородной обдувки кромок увеличена прочность сварного шва труб, что наряду с внедрением других технических мероприятий позволило аттестовать водогазопроводные трубы по высшей категории качества. Выпуск труб по высшей категории качества доведен до 76 %. Экономический эффект от выпуска труб со Знаком качества составил 106 тысяч руб.

На стане 1/2"- 3" для прокатки труб условным проходом 20 мм внедрен штрипс 200 x 2,6 мм взамен штрипса 160 x 2,7 мм. Экономический эффект от внедрения мероприятия составил 179 тысяч рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Уточнена структура очага деформации применительно к формовке на станах непрерывной печной сварки труб.

2. Впервые сформулированы критерии устойчивости процесса формовки трубной заготовки при печной сварке труб.

3. Впервые получена аналитическая зависимость для определения продольной деформации срединной поверхности формируемой заготовки для общего случая формовки при печной сварке труб.

4. Из условия минимума работы формоизменения впервые получены аналитические зависимости, определяющие изменение кривизны срединной дуги поперечных сечений заготовки (углагиба) по длине

внеконтактных участков очага деформации для общего случая формовки с учетом возможных состояний межклетевого очага деформации.

5. Получены зависимости для расчета граничных условий внеконтактных участков очага деформации на входе и выходе вертикальной формирующей клетки и на входе сварочной клетки.

6. Сопоставление расчетных размеров очага деформации с фактическими показало хорошую сходимость.

7. На основе полученных в работе теоретических и эмпирических зависимостей и принятых критериев устойчивости разработана математическая модель процесса формовки, которая реализована на ЭВМ ЕС 1022.

8. Впервые выполнен количественный и качественный анализ влияния параметров процесса формовки на его устойчивость.

9. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по выбору оптимальных параметров процесса формовки при печной сварке труб.

10. Разработана программа расчета оптимальных параметров процесса формовки для действующих станов печной сварки труб.

11. Результаты выполненных исследований использованы для совершенствования процесса производства водогазопроводных труб на станах 1/2"- 2" и 1/2"- 3" Челябинского трубопрокатного завода.

12. Суммарный экономический эффект от внедрения результатов работы по двум цехам ЧТПЗ составил 285 тысяч рублей.

Основное содержание диссертации изложено в публикациях:

1. Медников Ю.А., Кузнецов Э.М. Продольная деформация полосы в процессе непрерывной формовки при печной сварке труб. - Днепропетровск, 1977, 10 с. с ил. - Рукопись представлена Всесоюз. науч.-исслед. и конструкт.-технологич. ин-том трубной промышленности (ВНИТИ). Деп. в ин-те "Черметинформация" 27 июля 1977, № 255.

2. Медников Ю.А., Кузнецов Э.М. Определение формы и размеров внеконтактных очагов деформации формируемой заготовки при печной сварке труб. - Днепропетровск, 1977, 14 с. с ил. - Рукопись представлена Всесоюз. науч.-исслед. и конструкт.технологич. ин-том трубной промышленности (ВНИТИ). Деп. в ин-те "Черметинформация" 27 июля 1977, № 254.

3. Снижение расхода металла при производстве труб печной сваркой. /Ю.А. Медников, И.И. Сергеев, Э.М. Кузнецов и др. - Сварочное производство, 1977, № 9, с. 32 - 33.

4. Медников Ю.А., Кузнецов Э.М. Устойчивость формовки трубной заготовки на станах непрерывной печной сварки труб. - Металлург, 1979, № 2, с. 37 - 38.

5. Медников Ю.А., Кузнецов Э.М. Выбор оптимальных параметров формовки заготовки при печной сварке труб. - Сталь, 1980, № 1, с. 45 - 46.