

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ И КАЛИБРОВКА ОПРАВКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТАНА

Разработана математическая модель процесса продольной прокатки труб на автоматическом стане. Сформировано осевое сопротивление оправки потоку прокатываемого металла. Предложена методика калибровки оправки автоматического стана рациональной формы. Проведено опытно-промышленное испытание партии оправок рациональной калибровки на автоматическом стане. Показано влияние калибровок оправок стана на поперечную разностенность черновых и готовых бурильных труб, производимых на трубопрокатном агрегате.

Ключевые слова: ОПРАВКА, ГИЛЬЗА СТАН, ТРУБА, ОЧАГ ДЕФОРМАЦИИ, КАЛИБРОВКА, ОСЕВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, РАЗНОСТЕННОСТЬ, ДИНАМИКА, МЕТАЛЛ.

Розроблено математичну модель процесу поздовжньої прокатки труб на автоматичному стані. Сформовано осьовий опір оправлення потоку металу, що прокочується. Запропоновано методіку калібрування оправлення автоматичного стана раціональної форми. Проведено дослідно-промислове випробування партії оправлень раціонального калібрування на автоматичному стані. Показано вплив калібрувань оправлень стана на поперечну різностінність чорнових і готових бурильних труб, вироблених на трубопрокатному агрегаті.

Ключові слова: ОПРАВЛЕННЯ, ГИЛЬЗА СТАН, ТРУБА, ВОГНИЩЕ ДЕФОРМАЦІЇ, КАЛІБРУВАННЯ, ОСЬОВИЙ ОПІР, РІЗНОСТІННІСТЬ, ДИНАМІКА, МЕТАЛ.

The mathematical model of process of the longitudinal rolling of pipes is worked out on an automatic figure. Axial resistance of mounting to the stream of the rolled metal is formed. Methodology of calibration of mounting of automatic figure of rational form offers. It is conducted industrial test of party of mounting of rational calibration on an automatic figure. Influence of calibrations of mounting of figure is shown on transversal разностенность of draft and ready boring pipes producible on a aggregate.

Keywords: MOUNTING, A SHELL IS A FIGURE, PIPE, HEARTH OF DEFORMATION, CALIBRATION, AXIAL RESISTANCE, РАЗНОСТЕННОСТЬ, DYNAMICS, METAL.

Технологический процесс производства бесшовных труб на трубопрокатном агрегате (ТПА) со станами продольной прокатки предусматривает поэтапное формирование основных параметров прошитых гильз по диаметру и толщине стенки после на автоматическом стане. Промышленное освоение производства высококачественных бурильных труб на ТПА с автоматическими станами, обладающими повышенными эксплуатационными свойствами и уменьшенной материалоемкостью является наиболее актуальным. Качество бурильных труб – точность их геометрических размеров, чистота наружной и внутренней поверхности, механические свойства материала бурильных труб строго регламентируется стандартами или техническими условиями [1].

Деформация гильз после прошивного стана осуществляется на автоматическом стане в калиброванных валках и на короткой оправке, что приводит к существенному увеличению разностенности черновых труб. Характерно, что при продольной раскатке гильз на стане наиболее ярко проявляется поперечная разностенность (симметричная разностенность) гильз, обусловленная рядом факторов: несоответствием калибровки технологического инструмента (оправки и валков) размеру прокатываемых труб; перекосом оправки в плоскости, перпендикулярной оси прокатки; изменением зазора между валками и оправкой вследствие упругой деформации элементов клетки; потерей устойчивости стержня механизма удержания оправки. Это приводит к образованиям на контуре трубы участков, не обжимаемых круглыми частями калибра. При прокатке гильз, например на автоматическом стане ТПА 250, разностенность черновых труб резко возрастает. Если среднее значение разностенности гильзы после прошивного стана лежит в пределах 16–20 %, то после первого прохода оно повышается до 50–55 %. После второго прохода разностенность труб несколько снижается и для основного количества труб она составляет 20–22 %.

Прокатка бурильных труб на автоматическом стане отечественных ТПА осуществляется как на конических, так и на сферических оправках. Преимущественное распространение получили конические оправки. Однако в ряде случаев применяют сферические оправки. Следует отметить, что наличие сферической оправки в очаге деформации стана настолько затрудняет захват гильзы валками, что даже при сравнительно малых обжатиях требуется принудительная подача гильзы в валки при помощи пневматического вталкивателя.

По методике калибровки оправки автоматического стана [1] длина ее рабочей части находится исходя из максимальной величины обжатия стенки гильзы, а протяженность рабочего конуса оправки составляет 0,3–0,9 ее диаметра. При этом для облегчения входа оправки в гильзу торец ее округляется радиусом, величина которого возрастает с увеличением диаметра оправки.

Калиброванная коническая оправка состоит из двух основных частей: цилиндрического пояска и конического рабочего участка. Особо следует подчеркнуть тот факт, что при прокатке гильз на короткой оправке в круглом калибре с выпусками из-за неравномерности деформации в вершине и у разъема калибра черновая труба имеет значительную поперечную разностенность. Данная разностенность, как правило, симметрична и геометрически представляет собой определенное утолщение стенки гильзы в местах, соответствующих разъемам калибров соответственно при первом и втором проходах.

Опыт эксплуатации большинства автоматических станов отечественных ТПА показывает, что при неточной установке оправки (поясок оправки смещен от центра валков вперед или назад), а также из-за

повышенной толщины стенки исходной гильзы на стане в некоторых случаях наблюдается отсутствие захвата гильзы валками. Во избежание этого необходимо: установить правильно оправку в очаге деформации; уменьшить толщину стенки гильзы; увеличить диаметр прокатываемой гильзы до размеров ширины калибра валков. Чтобы не допустить образования этих дефектов, необходимо тщательно следить за настройкой автоматического стана, калибровкой оправок и валков и состоянием их рабочих поверхностей, активно использовать смазку (поваренную соль) перед каждым проходом и т.д.

Основное обжатие стенки гильзы происходит между валками и рабочей частью оправки. На выпускающем участке оправки стенка гильзы практически не меняется, а ее обжатие заканчивается на участке перехода от конической части оправки к цилиндрическому пояску.

Одним из способов повышения точности черновых труб при раскатке гильз на автоматическом стане является рациональное перераспределение вытяжек по соответствующим проходам, предусматривающее снижение обжатия во втором проходе и применение более тесных калибров с овальностью 1,04–1,05, а также конических оправок с увеличенным углом конусности.

Осевому перемещению металла в очаге деформации оправка оказывает определенное сопротивление, включающее лобовое сопротивление оправки и сопротивление, вызываемое силами трения. Вследствие несовершенства образующей рабочей поверхности, оправка в ходе высокоскоростного процесса продольной прокатки труб больше всего подвергается интенсивному износу со стороны обтекающего потока горячего металла. Это приводит к значительному увеличению осевого сопротивления оправки в очаге деформации и к нарушению устойчивости функционирования механизма ее удержания на оси прокатки. Сопротивление перемещению металла в очаге деформации с уменьшением угла конусности оправки повышается вследствие удлинения поверхности соприкосновения металла с оправкой. Минимальное суммарное сопротивление соответствует такому углу конусности, при котором достигается равенство лобового сопротивления и сопротивления от сил трения. Например, в условиях эксплуатации автоматического стана ТПА 250 наилучшие результаты получены при наличии смазки (поваренная соль) и использовании оправок с углом конусности 10–12°.

Отметим, что через определенное время эксплуатации происходит адаптация оправки процессу продольной прокатки и образующая ее рабочей поверхности приобретает реальную форму, которая, по картине износа, идентифицируется с некоторой рациональной кривой.

С целью разработки методики проектирования (калибровки) технологического инструмента, отработки и реализации устойчивых режимов прокатки труб на автоматическом стане, сформируем функционал

осевого сопротивления оправки на базе математической модели динамики процесса течения металла в очаге деформации.

Очаг деформации автоматического стана, с некоторыми допущениями, представляем в виде условно – круглого калибра, образованный валками и оправкой. Принимаем определенное допущение, что калибр автоматического стана, в дальнейшем, является строго осесимметричным. Тогда, поток прокатываемого металла в очаге деформации, в рамках гидродинамической модели, можно рассматривать в виде «вязкой» несжимаемой рабочей среды (рис. 1).

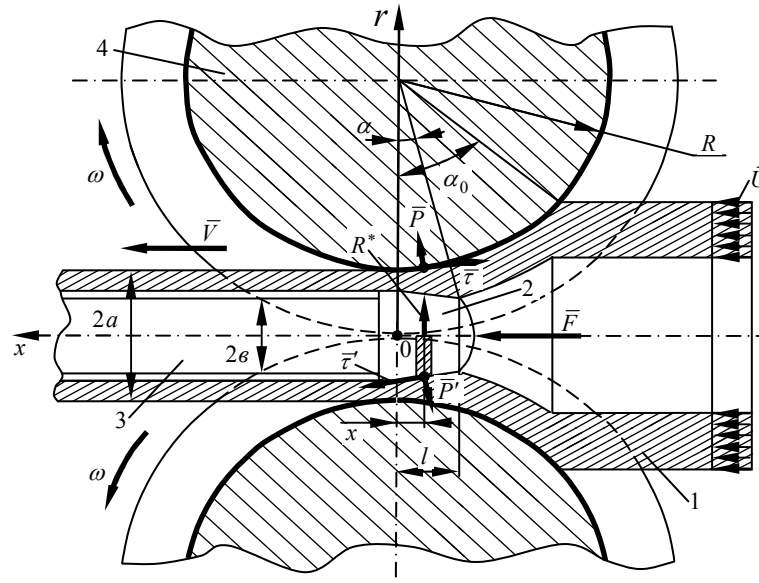


Рисунок – 1. Расчетная схема очага деформации автоматического стана:

1 – гильза; 2 – оправка; 3 – стержень оправки; 4 – рабочий валок

Следуя оговоренным условиям, в дальнейшем в рамках динамической модели очага деформации воспользуемся уравнениями Навье-Стокса [2, 3, 4]. Выбираем цилиндрическую систему координат и после отбрасывания конвективных членов данные уравнения запишем в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial r} = \mu \left(\nabla^2 V_r - \frac{V_r}{r^2} \right), & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = \mu \nabla^2 V_x, & (2) \end{cases}$$

где $\nabla^2 () = \frac{\partial^2 ()}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial ()}{\partial r} + \frac{\partial^2 ()}{\partial x^2}$ – обобщенный оператор Лапласа; μ – коэффициент вязкости металла (рабочей среды).

Отметим, что коэффициент «вязкости» среды определяется согласно методикам [4, 5] исходя из зависимости сопротивления деформации от скорости и условий деформации металла.

Если считать, что длина зоны течения металла (зоны деформации) между оправкой и рабочими валками больше ее «ширины» (очаг деформации «узкий» $l > a$) и при этом, принимая во внимание допущения об осесимметричности процесса, сохраняет свою силу ранее приведенный

анализ. Тогда, положив за основу $V_x = U(x, r)$, с учетом принятых допущений и преобразований, дифференциальные уравнения (1) и (2) для определения градиента давления металла в очаге деформации запишем в виде

$$\frac{dp}{dx} = \mu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} \right) \quad (3)$$

где $U(x, r)$ – скорость течения металла в очаге деформации вдоль оси прокатки

Необходимо отметить, что решение дифференциального уравнения (3) позволяет получить аналитические зависимости для нахождения значений динамических составляющих энергосиловых параметров при продольной прокатке гильз на автоматическом стане. После обезразмеривания системы уравнений (3) и некоторых упрощений, соответственно, получаем преобразованное уравнение

$$\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} = \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{r}}, \quad (4)$$

где $\bar{x} = \frac{x}{a}$; $\bar{r} = \frac{r}{a}$; $\bar{U} = \frac{U}{V}$; $\bar{p} = \frac{pa}{\mu V}$ – безразмерные параметры задачи; a – радиус гильзы.

Из решения дифференциального уравнения (4) находим скорость движения потока металла в очаге деформации [3]

$$\bar{U}(\bar{x}, \bar{r}) = \frac{1}{4} \frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} \bar{r}^{-2} + C_1(\bar{x}) + C_2(\bar{x}) \ln \bar{r}. \quad (5)$$

Тогда, параметры интегрирования $C_1(x)$ и $C_2(x)$ определяем из уравнения (5), используя граничные условия задачи, опираясь на базовые условия воспроизведения процесса продольной прокатки гильз в очаге деформации стана и взаимодействия прокатываемого металла с технологическими инструментами в соответствующих зонах их контакта.

Принимая во внимание кинематику очага деформации, из условия взаимодействия металла с образующей оправки и по катающему радиусу вращающихся валков, формируем необходимые и достаточные граничные условия задачи в безразмерном виде

$$\bar{U} \Big|_{\bar{r}=1+\bar{R} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\bar{x}^2}{\bar{R}^2}} \right)} = \bar{\omega} \left(\bar{R} + \frac{1}{2} \right) \text{ и } \bar{U} \Big|_{\bar{r}=\bar{R}^*(\bar{x})} = 0, \quad (6)$$

где $\bar{R} = \frac{R}{a}$ – безразмерный радиус валка

После подстановок граничных условий (6) в уравнение (5) и необходимых преобразований находим параметры интегрирования $C_1(\bar{x})$ и $C_2(\bar{x})$ в виде

$$C_1(\bar{x}) = \frac{\bar{\omega}(R + 1/2)\Delta\bar{R}^*(\bar{x})\ln R^*(\bar{x}) - \frac{1}{4}\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}}\left[\Delta^3\bar{R}^*(\bar{x}) - \Delta\bar{R}^{*3}(\bar{x})\ln\Delta\right]}{\bar{R}^*(\bar{x})\ln\bar{R}^*(\bar{x}) - \Delta\ln\Delta};$$

$$C_2(\bar{x}) = \frac{\bar{\omega}(\bar{R} + 1/2)\Delta - \frac{1}{4}\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}}\left[\Delta^3 - \bar{R}^{*3}(\bar{x})\right]}{\Delta\ln\Delta - \bar{R}^*(\bar{x})\ln\bar{R}^*(\bar{x})}, \quad (7)$$

где $\bar{\omega} = \frac{\omega a}{V}$; $\bar{R}^*(\bar{x}) = \frac{R^*(x)}{a}$ – безразмерные параметры уравнения (угловая скорость вала и радиус образующей оправки в калибре);

$\Delta = 1 + \bar{R} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{\bar{x}^2}{\bar{R}^2}} \right]$ – параметр очага деформации, соответствующий условному катающему радиусу в рассматриваемом сечении x очага деформации.

При течении потока металла в осесимметричном калибре очага деформации уравнение неразрывности, с учетом расположения оправки и параметров формирования трубы (гильз с заданными геометрическими размерами), записываем в форме закона постоянства мгновенных расходов. Данное уравнение представляем в безразмерной форме

$$2 \int_{\bar{R}^*(x)}^{\Delta} U r dr = 1 - \bar{b}^2. \quad (8)$$

где $\bar{b} = \frac{b}{a}$; b – радиус цилиндрического пояска оправки.

Подставляя выражение (5) в (8) и используя параметры интегрирования $C_1(\bar{x})$ и $C_2(\bar{x})$ из уравнений (7) в рамках динамической модели процесса продольной прокатки труб, находим градиент давления в очаге деформации автоматического стана в безразмерной форме

$$\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} = \frac{f_1(\bar{x})}{f_2(\bar{x})}, \quad (9)$$

где

$$f_1(\bar{x}) = \left(1 - \bar{b}^2\right) - \frac{\bar{\omega}(\bar{R} + 0,5)}{\Delta\ln\Delta - \bar{R}^*(\bar{x})\ln\bar{R}^*(\bar{x})} \quad (10)$$

$$\left[\bar{R}^*(\bar{x})\ln\bar{R}^*(\bar{x}) \left[\Delta - \bar{R}^*(\bar{x}) \right] + \Delta^2(\ln\Delta - 0,5) - \bar{R}^2(\ln\bar{R} - 0,5) \right];$$

$$f_2(\bar{x}) = \frac{\Delta^4 - \bar{R}^{*4}(\bar{x})}{8} - \frac{2\Delta\bar{R}^*(\bar{x})[\Delta^2 \ln \bar{R}^*(\bar{x}) - \bar{R}^{*2}(\bar{x}) \ln \Delta][\Delta - \bar{R}^*(\bar{x})]}{4(\Delta \ln \Delta - \bar{R}^*(\bar{x}) \ln \bar{R}^*(\bar{x}))} +$$

$$+ \frac{\Delta^3 - \bar{R}^{*3}(\bar{x})[\Delta^2(\ln \Delta - 0,5) - \bar{R}^2(\ln \bar{R} - 0,5)]}{4(\Delta \ln \Delta - \bar{R}^*(\bar{x}) \ln \bar{R}^*(\bar{x}))}. \quad (11)$$

Интегрируя дифференциальное уравнение (9), определяем величину давления металла в рассматриваемом сечении x очага деформации

$$\bar{p}(\bar{x}) = \int_0^{\bar{x}} \frac{f_1(\bar{x})}{\bar{x} f_2(\bar{x})} d\bar{x}. \quad (12)$$

Исходя из закона вязких трений (закона Ньютона) [5], в рамках динамической модели очага деформации, находим касательные напряжения (силы трения) в потоке прокатываемого металла. Для удобства решения поставленной задачи, касательные напряжения в очаге деформации представим в безразмерной форме

$$\bar{\tau}(\bar{x}, \bar{r}) = \frac{\tau a}{\mu V} = \frac{\partial \bar{U}}{\partial r}. \quad (13)$$

Здесь $\bar{\tau} = \frac{\tau a}{\mu V}$ – касательное напряжение в рассматриваемом сечении x очага деформации в безразмерной форме.

Следовательно, из (13) и (5) касательное напряжение в очаге деформации окончательно запишем в виде

$$\bar{\tau}(\bar{x}, \bar{r}) = \frac{1}{2} \frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} \bar{r} + \frac{C_2(\bar{x})}{\bar{r}} = \frac{1}{2} \frac{f_1(\bar{x})}{f_2(\bar{x})} \bar{r} + \frac{C_2(\bar{x})}{\bar{r}}. \quad (14)$$

Тогда, с учетом энергосиловых параметров очага деформации (9) и (14), находим осевое сопротивление оправки потоку прокатываемого металла

$$\bar{F} = \frac{F}{2\pi\mu aV} = \int_{\ell}^0 2\pi\bar{R}^*(\bar{x})\bar{R}'^*(\bar{x})\bar{p}d\bar{x} + \int_{\ell}^0 2\pi\bar{R}^*(\bar{x})\bar{\tau}d\bar{x} \quad (15)$$

где $\bar{\ell} = \bar{R} \sin \alpha$ – рассматриваемая длина зоны течения потока металла (зоны деформации без учета зоны редуцирования) в калибре автоматического стана.

После подстановок \bar{p} и $\bar{\tau}$ в (15) имеем усилия на оправку и стержневую систему механизма удержания оправки при реализации технологического процесса прокатки гильзы на автоматическом стане

Для достоверности теоретических выкладок и практической ценности поставленной задачи более подробно остановимся на примере расчета калибровки оправки $\delta_a = 114$ мм автоматического стана ТПА 250 ОАО «Азербору» (Азербайджанский трубопрокатный завод) на базе

СТП 14-163-88 [6]. Длину цилиндрического пояска оправки конической формы назначаем конструктивно 20 мм. При этом радиус перехода от рабочей к цилиндрической части оправки равен 28 мм, а длина рабочей части оправки должна обеспечить перекрытие зоны обжатия, поэтому ее определяют по максимальной величине обжатия стенки (практически принимаем 90мм).

Используя метод оптимизации [5] из условия минимума функционала осевого сопротивления оправки обтекающему потоку металла в пространстве очага деформации (16), путем реализации базовой вариационной задачи Эйлера, определяем рациональную форму (калибровку) образующей рабочей поверхности оправки автоматического стана ТПА 250, а также находим величины энергосиловых параметры процесса продольной прокатки труб на стане (рис. 2) (таблица 1).

Анализ полученных результатов показывает, что форма образующей оправки (калибровка), соответствующая рациональной кривой, при прочих равных условиях, обеспечивает оптимальное распределение давления металла и касательных напряжений по всей длине очага деформации. Это приводит к снижению осевого сопротивления оправки потоку металла.

Используя функционал осевого сопротивления оправки (15) путем реализацией многофакторного математического эксперимента, для конкретных маршрутов прокатки гильз, возможно изучение динамики процесса продольной прокатки труб. Полученные результаты позволяют, на соответствующем этапе проектирования технологического процесса, путем моделирования, обрабатывать и реализовывать устойчивые режимы течения металла в очаге деформации автоматического стана.

Далее исследуем влияние рациональной калибровки оправок автоматического стана на поперечную разностенность гильз и готовых бурильных труб. При этом применялись литые отоженные шлифованные оправки диаметром 114мм, сочленяемые со стрежнем механизма удержания с помощью специальных шпилек, известной и новой калибровок. Опытно – промышленное опробование оправок рациональной калибровки проводили на автоматическом стане ТПА 250. Для получения сравнительных результатов был приведен опытный прокат партии черновых труб 127x9,17мм (сталь 32Г2) в готовые трубы размером 114x7,0 мм.

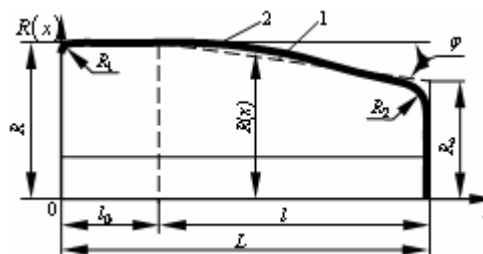
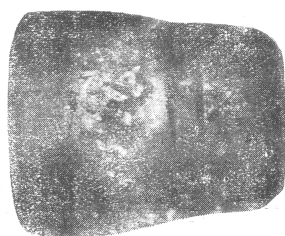
С целью создания в калибре симметричных условий деформации по периметру гильзы, была скорректирована рациональная калибровка оправки, способствующая созданию калибра с рациональными величинами обжатия по толщине стенки деформируемой трубы. В этом случае характерная форма ручья рабочих валков автоматического стана, как по вершине калибра, так и ближе к выпускам не изменяется.

Таблица 1

Расчетные величины энергосиловых параметров процесса прокатки гильз (партии черновых труб 127x9,17мм, сталь 32Г2 в готовые трубы размером 114x7,0 мм.) и размеры рациональной оправки автоматического стана ТПА 250 диаметром 114мм (первый проход)

№ п/п	Координата x , мм	Касательные напряжения		Давление металла в очаге деформации, $p \cdot 10^9$, Н / м ²	Размеры рациональной оправки, $R^*(x)$, мм
		На валке $\tau_a 10^9$, Н / м ²	На оправке $\tau_e 10^9$, Н / м ²		
1	20	0,292	0,405	0,736	57,00
2	30	0,268	0,332	0,621	56,80
3	40	0,231	0,291	0,533	55,40
4	50	0,208	0,266	0,461	54,10
5	60	0,197	0,254	0,395	53,60
6	70	0,160	0,251	0,334	52,20
7	80	0,102	0,198	0,217	49,10
8	90	0,051	0,082	0,095	48,300

Для обеспечения оптимальных условий течения металла в очаге деформации, гарантированного захвата гильз рабочими валками и стабилизации качества (разностенности) труб практически путем установлены рациональные соотношения между шириной калибра и его диаметром (высотой). Условия эксплуатации автоматического стана ТПА 250 №1 показывают, что для тонкостенных труб отношение ширины калибра B_k к его высоте D_k необходимо принять равным $\xi = 1,03 \div 1,04$, а для труб со средней и толстой стенкой $\xi = 1,03 \div 1,04$. В районе цилиндрического пояса сечению оправки придаем форму овала, который плавно сопрягается с калиброванным рабочим участком оправки. На оправке с $\xi=1,02$ была прокатана выбранная партия труб, после чего были проведены замеры уровня их разностенности. Оценка влияния известной и новой калибровок оправок автоматического стана на точность прокатанных труб определялась путем сопоставления уровней разностенности гильз и готовых труб [6].



а)

б)

а) картина износа оправки автоматического стана диам. 114 мм;

б) рациональная калибровка оправки

Рисунок – 2. Картина износа а) и калибровка оправки б) автоматического стана ТПА:

1 – существующая конусная калибровка; 2 – рациональная калибровка

Первоначально была прокатана партия бурильных труб с применением оправок известной калибровки диаметром 114 мм (первый проход). После этого вторая партия труб прокатывалась с использованием овальной оправки с рациональным калиброванным участком, диаметр по вершине калибра которой составляет 114 мм, а по выпускам – 116 мм, т.е. $\xi=1,02$. После первого прохода в автоматическом стане концевые участки труб обеих партий были обмеряны по длине 1000 мм через каждые 100 мм в 8 точках по периметру.

Анализ результатов замеров показал, что применение оправки рациональной калибровки способствует снижению уровня поперечной разностенности черновых размеров гильз в среднем на 7-8% (рис.3), что создает необходимые предпосылки для сокращения величины концевой обрезки и повышения точности готовых бурильных труб (рис.4).

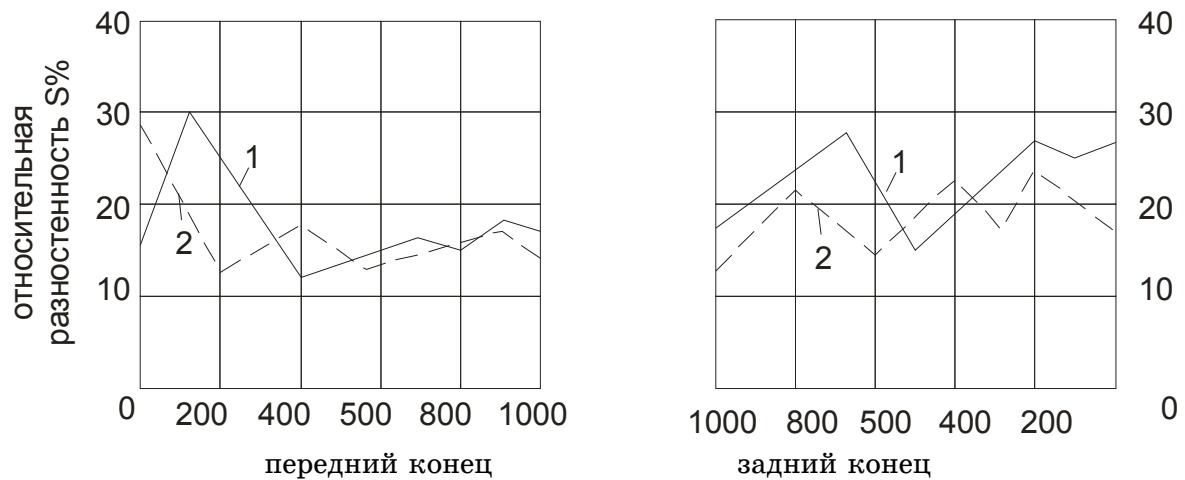


Рисунок – 3. Влияние калибровок оправок на разностенность труб после первого прохода на автоматическом стане
1 – коническая оправка; 2 – новая оправка

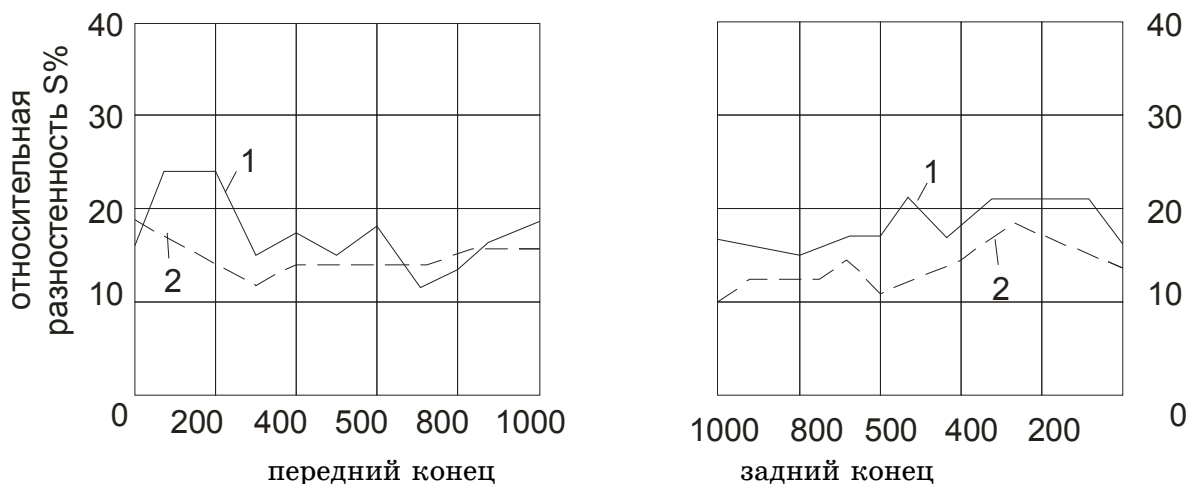


Рисунок – 4. Влияние калибровок оправок на разностенность готовых труб
1 – коническая оправка; 2 – новая оправка

Процесс прокатки труб на автоматическом стане с применением оправки новой калибровки более устойчив и протекает без дополнительных остановок на настройку очага деформации.

Выводы

1. Разработана математическая модель процесса продольной прокатки труб на автоматическом стане и решена задача о динамике высокоскоростного течения металла между рабочими валками и оправкой в очаге деформации на базе вязкой реологии рабочей среды.

2. Сформировано осевое сопротивление оправки обтекающему потоку металла в очаге деформации и минимизацией функционала осевого сопротивления оправки определена рациональная калибровка рабочего участка оправки.

3. На базе разработанной динамической аналогии установлено влияние формы рабочей поверхности (калибровки) оправки автоматического стана на формирование энергосиловых параметров очага деформации.

4. Путем оптимизации формы рабочей поверхности предложена новая калибровка оправки автоматического стана ТПА 250 на базе СТП 14-163-88, что обеспечивает в очаге симметричные условия деформации гильзы по периметру.

5. Изготовлена и опробована опытно – промышленная партия оправок рациональной калибровки с овальностью $\xi=1,02$ на автоматическом стане ТПА 250.

6. Установлено влияние калибровки оправок автоматического стана ТПА 250 на поперечную разностенность черновых и готовых труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н. Технология трубного производства. Учебник для вузов. /В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев // . – М.: Интермет - Инжиниринг, 2002. – 640 с.
2. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
3. Колмогоров Г.Л. Вопросы гидродинамической смазки при прессовании материалов жидкостью высокого давления./ Колмогоров Г.Л., Мельников Т.Е.// – Физика и техника высоких давлений. 1981, №3, с. 91-96.
4. Илюшин А.А. Механика сплошной среды. – 2-е изд. – М.: Издательство Московского Университета, 1978. – 288 с.
5. Гуляев Ю.Г. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. /Гуляев Ю.Г., Чукмасов С.А., Губинский А.В.// – Киев.: Наукова думка, 1986. – 240 с.
6. Гамидов Ф.Дж. Совершенствование технологии производства обсадных труб и повышения их качества. Сталь №2, 2002 г., с. 73-76.

Получено 4.06.2012 г.