

# ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХВАЛКОВОЙ ЛИСТОГИБОЧНОЙ МАШИНЫ И УСТАНОВОК РОЛИКОВОЙ ДОГИБКИ КРОМОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЯМОШОВНЫХ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА С СООТНОШЕНИЕМ ДИАМЕТР/ТОЛЩИНА СТЕНКИ МЕНЕЕ 30

## THE APPLICATION OF 3-ROLL SHEET BENDING MACHINE AND ROLL POST-BENDING MACHINES FOR PRODUCTION OF LONGITUDINAL LARGE PIPES WITH CORRELATION DIAMETER/THICKNESS LESS THAN 30

Р. В. Урядов, А. С. Христофоров  
ОАО «Волжский трубный завод»

### Abstract

*In this article we introduce based on the experience of longitudinal large pipes production on the Volzhsky pipe plant power parameters calculating and any ideas about a decreasing abilities of our equipment for pipes with high thickness.*

### 1. Введение.

Рынок прямошовных сварных труб большого диаметра в силу специфики их применения является весьма сложным и рискованным, поскольку текущий спрос на такие трубы обусловлен текущим наличием или отсутствием строящихся крупных магистральных газо- и нефтепроводов. При этом расчетный срок эксплуатации уже готовых линий составляет 20 -50 лет. Наблюдающаяся на сегодняшний день тенденция на рынке труб большого диаметра состоит в увеличении общего объема строительства подводных линий при существенном снижении объема строительства сухопутных трубопроводов. Трубы для морских (офшорных) проектов характеризуются большими толщинами стенок и более жесткими требованиями к качеству

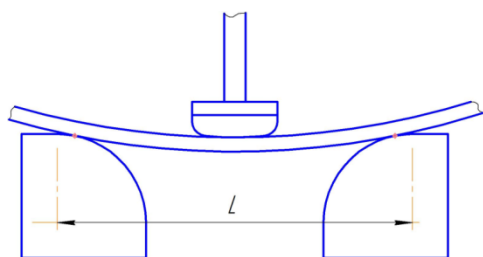
геометрических параметров. Характерно также и некоторое снижение диаметров труб.

В настоящей работе рассматривается возможность применения действующего на ОАО «Волжский трубный завод» технологического оборудования для производства сварных прямошовных труб большого диаметра, предназначенных для ряда офшорных проектов.

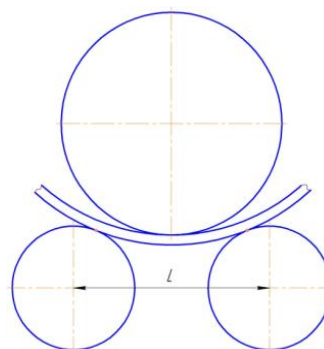
### 2. Состояние вопроса

#### 2.1. Современные способы формовки прямошовных труб.

На сегодняшний день существует два современных способа формовки труб большого диаметра: пошаговая формовка (рис.1а) и валковая (рис.1б). В обоих случаях реализуется простейший трехточечный изгиб.



б)



а)

Рис. 1 – Способы формовки трубных заготовок

Первый способ реализуется посредством прессы, осуществляющего вертикальные возвратно-поступательные перемещения инструмента, и манипулятора, производящего пошаговые перемещения и позиционирование трубной заготовки. Второй способ предусматривает непрерывную прокатку листа между тремя валками. Данный способ формовки реализован на ОАО «Волжский завод» на линии по производству прямошовных труб. Разработчик и изготовитель всего комплекса оборудования – компания Haeusler (Швейцария).

С точки зрения обеспечения равномерности деформаций по периметру трубной заготовки, а также производительности, наиболее

предпочтителен второй способ- валковая формовка. Данный способ применяется достаточно давно для гибки коротких цилиндрических обечаек, используемых для изготовления емкостного оборудования, но при использовании валковой формовки для изготовления труб длиной ~ 12 м имеются существенные ограничения.

#### 2.2. Характерные проблемы, возникающие при формовке прямошовных труб большого диаметра

Ниже рассматриваются проблемы, общие для обоих способов формовки.

##### 2.2.1. Обеспечение равномерности деформации трубной заготовки по длине

Одна из проблем связана со сравнительно большой длиной трубной заготовки и состоит в продольной деформации верхнего инструмента. Для пошаговой формовки данная проблема решается применением массивного и жесткого портала и нескольких гидроцилиндров, размещенных на портале равномерно по длине

трубы. Для валковой формовки данная проблема решается иначе – применением удлинённого верхнего вала (по сравнению с нижними) и двух дополнительных гидроцилиндров, осуществляющих противоизгиб (см. схему на рис. 2.).



Рис. 2 – Схема нагружения верхнего вала  
(P1,P2 – давление в опорных гидравлических цилиндрах,  
P3,P4 – давление в гидравлических цилиндрах противоизгиба)

При этом существенно снижается максимальная толщина стенки трубы сравнительно малых диаметров (менее 900 мм) когда требуется верхний валок малого диаметра (большой не проходит по габариту), который для противоизгиба требует усилий больших его прочности на изгиб. Таким образом, **валковая формовка имеет существенные ограничения по максимальной**

**толщине стенки трубы при диаметре менее 900 мм, что исключает применение данного способа для производства труб, предназначенных, например, для подводных трубопроводов.** На рис.3. приведено сравнение возможностей валковой формовки ОАО «ВТЗ» и пошаговой формовки ОАО «ВМЗ» (г. Выкса) при формовке листового проката класса прочности К60 (Х70).

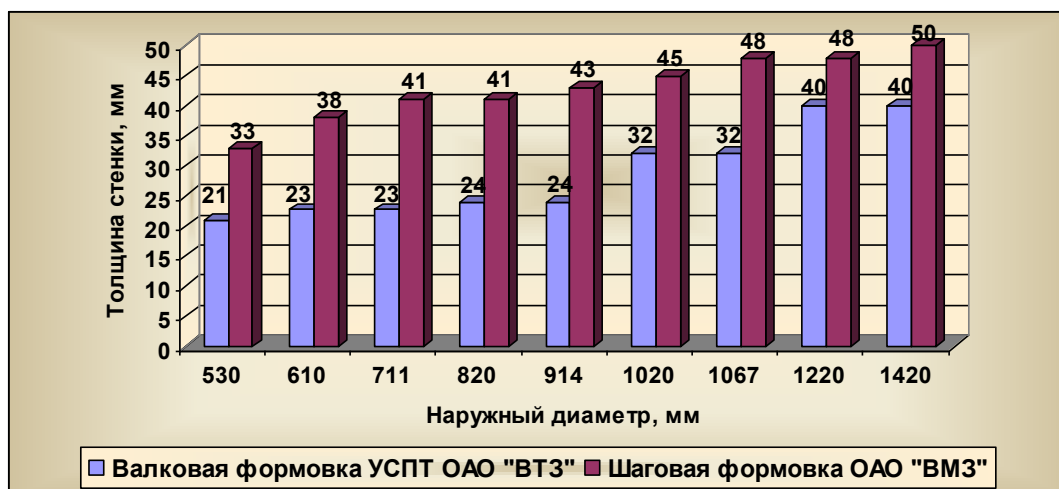


Рис.3 Сравнение возможностей валковой формовки ОАО «ВТЗ» и прессы шаговой формовки ОАО «ВМЗ» (г. Выкса)

### 2.2.2. Наличие недоформованных прямых участков в прикромочной зоне

Оба способа предусматривают наличие после формовки прямых прикромочных участков, минимальная длина которых зависит, главным образом, от раствора опор 1 (рис.1) (в случае валковой формовки – раствора нижних валков). А раствор, в свою очередь, назначается, исходя из силовых возможностей машины (максимального усилия гибки) с одной стороны и толщины стенки, диаметра трубы и прочностных свойств металла – с другой. Окончательное формирование профиля

трубной заготовки обеспечивается или подгибкой кромок (перед формовкой) или догибкой кромок – после формовки. В обоих случаях требуется минимизация длины прямых участков после формовки, т. е. максимальное возможное снижение раствора опорных точек и соответственное увеличение усилия гибки вплоть до превышения возможностей гидроцилиндров.

### 2.3. Валковая формовка с применением поддерживаемого верхнего вала

В трехвалковой листогибочной машине производства компании Haeusler предусмотрено

применение гибридного способа формовки – формовка с поддерживаемым верхним валком (рис.4). Применение такого способа формовки способно устранить указанное в п.2.2.1. ограничение, но в данном конкретном случае лишь частично. Если портал прессы пошаговой формовки неподвижен, а перемещаются лишь штоки гидроцилиндров, то мост суппорта верхнего вала машины Haeusler в процессе формовки перемещается сам.

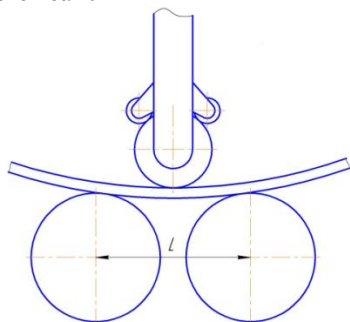


Рис.4 – Формовка с поддерживаемым верхним валком

Это с одной стороны повышает эффективность процесса, поскольку к усилию гибки, сообщаемому гидроцилиндрами, добавляется вес портала – более 100 тонн. С другой – создает опасность выхода из строя верхнего вала в момент максимальной высоты подъема портала, т. к. привод вращения верхнего вала, который также перемещается вверх-вниз, имеет массу, отличную от массы портала. Для устранения данной опасности в рассматриваемой машине применена карданная передача, крутящего момента от гидропривода к рабочему телу верхнего вала, что, ограничив крутящий момент, существенно снизило максимальную толщину стенки трубы.

### 3. Цель работы и методика исследования

**3.1.** Целью настоящей работы является изучение возможностей для увеличения силовых ресурсов существующей на ОАО «Волжский трубный завод» трехвалковой формовочной машины в части увеличения максимальных толщин стенок. Ограничивающими условиями служат во-первых – неперевышение максимального усилия гибки, во-вторых – обеспечение максимального качества догибки кромок.

**3.2.** Основой принимаемой в настоящей работе методики исследования является приближенный сравнительный корреляционный силовой расчет.

### 4. Содержание работы.

**4.1. Сравнительный экстраполяционный силовой расчет формовки труб размером 711 x 25,4 X65 и 813 x 39 X70 с экспериментальной проверкой.**

**4.1.1.** Определение максимального усилия, необходимого для гибки трубы 711x25,4 X65 верхним валом 260 мм с опорным порталом

при растворе нижних валов 600 мм проводилось по расчетной схеме для 3-х точечного изгиба:

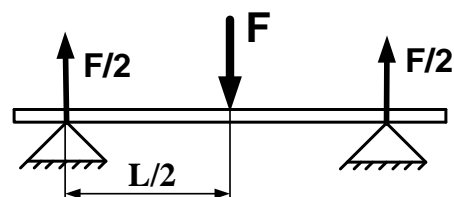


Рис. 5. Схема нагружения при 3-х точечном изгибе

$$F = \frac{M_{изг}}{L_{дин}/4}, \text{ где } M_{изг} - \text{изгибающий момент}$$

при формовке,  $L_{дин}$  – динамический раствор нижних валов вычисляется в зависимости от требуемого радиуса трубной заготовки и геометрии нижних валков.

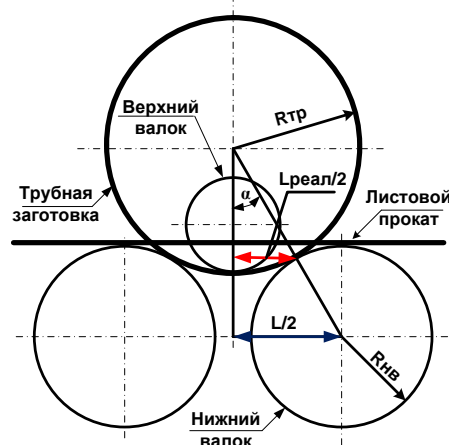


Рис. 6 – Схема определения динамического раствора при валковой формовке

$$L_{дин}/2 = R_{тр} \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{L/2}{R_{тр} + R_{нв}}$$

$$L_{дин}/2 = R_{тр} \frac{L/2}{R_{тр} + R_{нв}}$$

Таким образом, при формовке трубы 711x25,4 на последнем проходе полураствор составлял 169 мм, а в момент начала гибки задавался 300 мм.

$$M_{изг} = \sigma_m W$$

$\sigma_m = 480 \text{ МПа}$  – предел текучести металла категории прочности Х65

$W$  – момент сопротивления листового проката

$$W = \frac{L_{\text{листа}} s^2}{6}, \text{ где}$$

$L_{\text{листа}} = 11700$  мм - длина листа,  $S = 25,4$  мм - толщина листа

$$F = \frac{\sigma_m (L_{\text{листа}} s^2) / 6}{L_{\text{дин}} / 4}$$

$$F = \frac{480 \times 10^6 (11,7 \times (25,4 \times 10^{-3})^2) / 6}{0,169 / 4} = 7200 \text{ кН}$$

Данное расчетное усилие было получено при давлении в опорных гидравлических цилиндрах равном 95 бар. В процессе формовки труб 711х25,4 X65 также осуществлялся контроль крутящего момента на верхнем вале диаметром 260 мм.

$$M_{\text{кр}} = 2FR_{\text{вала}}\mu$$

где  $F$  - усилие прижатия вала,  $R_{\text{вала}}$  - радиус вала,  $\mu$  - коэффициент трения сталь по стали

$$M_{\text{кр}} = 2 \times 7200 \times 0,13 \times 0,15 = 280 \text{ кНм}$$

Расчетные величины, характеризующие силовые возможности валковой машины (усилие, крутящий момент) совпали с фактическими значениями соответствующих параметров, зафиксированных в процессе гибки труб 711х25,4 X65.

**4.1.2.** По подтвержденной на практике методике был произведен расчет силовых возможностей валковой машины при формовке труб **813х37,4 X70 и 813х39 X65 для проекта «Южный поток».**

При опытной формовке 2-х трубных заготовок 813х40 X70 длиной 5,5 м крутящий момент на верхнем валке составил 350 кН\*м. Данная формовка осуществлялась верхним рабочим валом Ø300 мм при растворе нижних валов 600 мм.

Известно, что значение крутящего момента при неизменном размере вала увеличивается пропорционально возрастанию усилия формовки, которое возрастает с увеличением длины трубной заготовки.

При величине крутящего момента 350 кН\*м усилие формовки 5,5-метровых трубных заготовок 813х40 X70 при растворе нижних валов 600 мм было:

$$F_{5,5} = M_{\text{кр}} / (2 * R_{\text{вала}} * \mu) = 350 / (2 * 150 * 0,15) = 7777 \text{ кН}$$

Для формовки полноразмерных 12-метровых труб 813х40 X70 при растворе нижних валов 600 мм требуется усилие:

$$F_{12} = \frac{F_{5,5} * 12}{5,5} = 16970 \text{ кН}$$

При формовке данных трубных заготовок при растворе нижних валов 800 мм увеличивается рычаг гибки и снижается усилие гибки до:

$$F_{800} = \frac{F_{600} * 600}{800} = 12727 \text{ кН}$$

Для осуществления формовки трубы **813х37,4 X70** рабочим верхним валом 300 мм при растворе нижних валов 800 мм необходимо создать усилие гибки:

$$F_{813 \times 37,4 \times 70} = \frac{F_{813 \times 40 \times 70} * 37,4^2}{40^2} = 11126 \text{ кН}$$

Значение крутящего момента на верхнем вале 300 мм при формовке **813х37,4 X70** составит:

$$M_{\text{кр}} = 2 * 11126 * 0,15 * 0,15 = 501 \text{ кН} * \text{м}$$

При формовке трубы **813х39 X65** рабочим валом 300 мм при растворе нижних валов 800 мм усилие гибки будет:

$$F_{813 \times 39 \times 65} = \frac{F_{813 \times 37,4 \times 70} * \sigma_{X65} * 39^2}{\sigma_{X70} * 37,4^2} = \frac{11126 * 480 * 39^2}{520 * 37,4^2} = 11168 \text{ кН}$$

Значение крутящего момента на верхнем вале 300

мм при формовке **813х39 X65** составит:

$$M_{\text{кр}} = 2 * 11168 * 0,15 * 0,15 = 502 \text{ кН} * \text{м}$$

**По результатам вышеприведенного расчета можно сделать вывод о том, что при формовке труб 813х37,4 X70 и 813х39 X65 для «Южного потока» будут близкие по величине усилия гибки – 11130-11170 кН и крутящие моменты на 300 мм верхнем рабочем вале – 500 кН\*м.**

Для сравнения при формовке трубы 1420х40 X70 (предельные контрактные возможности машины) рабочим валом 900 мм при растворе нижних валов 800 мм максимальное усилие гибки должно составлять 12336 кН = 1259 тонн силы. В программном обеспечении 3-х валковой листогибочной машине при работе с 900 мм валом заложено ограничение по максимально допустимому давлению в гидроцилиндрах 260 бар, что создаст предельное усилие гибки 14220 КН.

**4.1.3. Проверочный расчет верхнего рабочего вала диаметром 300 мм на скручивание при формовке труб 813х37,4 X70 и 813х39 X65 для «Южного потока»** сводится к удовлетворению 2-х условий: прочности и жесткости.

Проверка условия прочности:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\text{кр max}}}{W_p} \leq [\tau], \text{ откуда}$$

$$D_{\text{нч}} \geq \sqrt[3]{\frac{16M_{\text{кр max}}}{\pi * [\tau]}}$$

$$M_{\text{кр max}} = 500 \text{ кН*м} - \text{максимальный}$$

крутящий момент при формовке труб **813x37,4 X70** и **813x39 X65** для «Южного потока»

$$W_p = \frac{\pi * D^3}{16} - \text{полярный момент}$$

сопротивления вала

$$[\tau] = 0,55 * [\sigma_p] = 0,55 * 960 = 528 \text{ МПа}$$

- допустимое касательное напряжение для стали 38Х2Н2МА (российский аналог стали 30CrNiMo8)

$$300 \text{ мм} \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 500 * 10^3}{\pi * 528 * 10^6}} = 169 \text{ мм}$$

Проверка условия жесткости:

$$\theta_{\max} = \frac{M_{\text{кр max}}}{G * I_p} \leq [\theta], \text{ откуда}$$

$$D_{\text{жс}} \geq \sqrt[4]{\frac{32M_{\text{кр max}}}{\pi * G * [\theta]}}$$

$$M_{\text{кр max}} = 500 \text{ кН*м} - \text{максимальный крутящий}$$

момент при формовке труб **813x37,4 X70** и **813x39 X65** для «Южного потока»

$$I_p = \frac{\pi * D^4}{32} - \text{полярный момент инерции}$$

сечения вала

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{210 * 10^9}{2 * (1 + 0,3)} = 80,8 \text{ ГПа}$$

модуль сдвига для стали

$$[\theta] = 8,75 \text{ мрад/м} (0,52 \text{ град/м})$$

допустимый относительный угол закручивания

$$300 \text{ мм} \geq \sqrt[4]{\frac{32 * 500 * 10^3}{\pi * 80,8 * 10^9 * 8,75 * 10^{-3}}} = 291,3 \text{ мм}$$

По полученным результатам можно сделать вывод, что трубы 813x37,4 X70 и 813x39 X65 для проекта «Южный поток» возможно производить на валковой формовке ОАО «ВТЗ», при условии передачи необходимого крутящего момента на верхний вал. Этого можно достичь путем замены применяемого карданного вала на цельнометаллический хвостовик. В результате снятия ограничения при вращении мы сможем производить формовку труб с жестким профилем (малое отношение диаметр к толщине стенки), выполняя перспективные заказы по изготовлению прямошовных труб для морских подводных трубопроводов в соответствии со стандартом DNV.

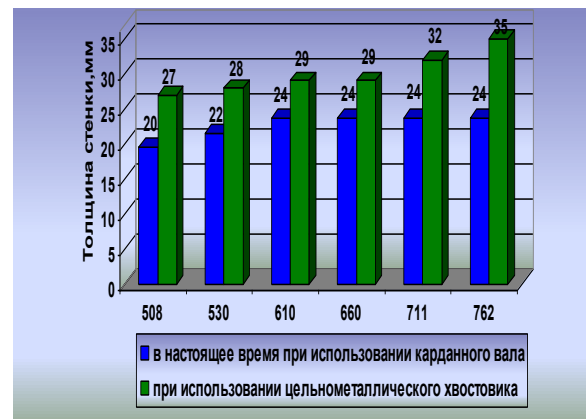


Рис. 7 - Сравнение возможностей листогибочной машины при формовке труб категории прочности X65 рабочим валом Ø 260 с опорным порталом

#### 4.2. Догибка кромок трубной заготовки.

Машина догибки кромок предназначена для окончательной догибки продольных кромок заготовок труб, которые остаются плоскими после формовки заготовок на листогибочной машине. Машина догибки кромок представляет собой валковый приводной калибр проходного типа, который допускает (при необходимости) обратное движение для повторения операции подгибки кромок заготовок труб (рис. 8)

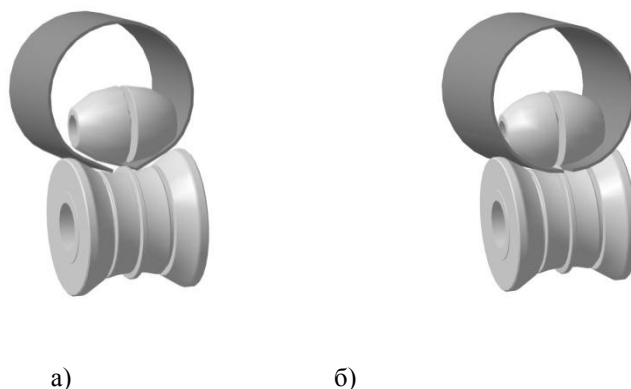


Рис. 8. Принцип работы роликовой машины догибки кромок

После формовки трубная заготовка с недогнутыми кромками ложится на нижний гибочный вал (рис.8а), верхний вал прижимает заготовку с определенным усилием. Далее труба прокатывается по всей длине. В результате мы получаем в сечении круглую заготовку (рис.8б). После догибки кромок трубная заготовка поступает на участок сборки и сварки.

#### 4.3. Калибровка инструмента для догибки кромок

**4.3.1. Исходные данные для расчета калибровок инструмента.** На рис. 9 представлены основные геометрические параметры калибровки инструмента для догибки кромок.

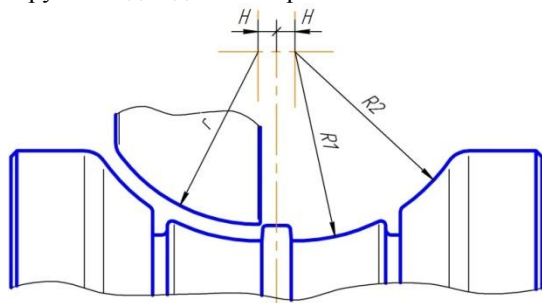


Рис. 9 – Геометрия догибочного инструмента

Как видно из рисунка, в инструменте применена однорадиусная калибровка, что с геометрической точки зрения не вполне корректно, поскольку в результате трехточечного изгиба траектория будет иметь форму параболы, но в пределах угла  $90^\circ$  расхождения между однорадиусной дугой окружности и параболой будут практически отсутствовать.

Для обеспечения требуемого качества геометрии трубы необходимо:

- Обеспечить отсутствие перегибов между зонами формовки и догибки, что достигается равенством радиуса кривизны зоны догибки и номинального радиуса трубы с учетом фактического пружинения (упругой деформации);
- Для компенсации сварочных деформаций, возникающих при сварке внутреннего шва придать

профилю трубы некоторый перегиб, что при сведении кромок перед сваркой прихваточного шва обеспечит форму, указанную на рис. 10. Значение  $h$  – требуемое отклонение профиля трубы от теоретической окружности в районе шва – зависит от жесткости профиля трубы с одной стороны и является функцией от горизонтального смещения центра кривизны инструмента ( $H$  на рис. 9) – с другой

Рис. 10 Требуемая геометрия прикромочной зоны

Радиус кривизны верхнего вала определяется исходя из радиуса нижнего инструмента:

$r = R_1 - S_{\text{ном}} - f$ , где  $S_{\text{ном}}$  – номинальная толщина стенки трубы,  $f$  – технологический зазор на калибровку.

**4.3.2. Калибровки существующего догибочного инструмента компании Haeusler** в соответствии с контрактом способны обеспечить качество геометрии по стандарту API 5L, т.е. для наземных трубопроводов, где требования к геометрии позволяют использовать один и тот же нижний валок для догибки труб одного наружного диаметра всех толщин стенок, и в случае необходимости работать с неполным погружением верхнего ролика. Это не подходит для «подводных труб», где требования к геометрии существенно жестче, а типоразмер труб определяется не наружным диаметром, а внутренним. Таким образом, возникла необходимость расчета необходимой калибровки, которая бы позволила обеспечить требуемую геометрию трубной заготовки. Ставилась задача разработать методику для расчета радиуса кривизны нижнего

догибочного инструмента и для смещения центра кривизны.

**4.3.3. Методика расчета радиуса кривизны догибочного инструмента.** Рассмотрим случай чистого изгиба для недогнутых кромок трубной заготовки (рис.10). Под действием изгибающего момента кромки изогнутся и ось принимает форму дуги окружности.

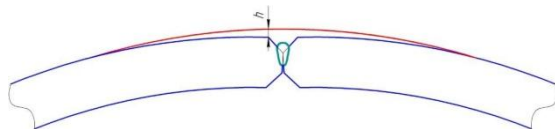


Рис.10

Поперечные сечения в условиях чистого изгиба всегда остаются плоскими, не искривляются, а лишь поворачиваются. Образование деформаций при чистом изгибе можно рассматривать как результат поворота плоских поперечных сечений друг относительно друга. В результате такого поворота верхние слои удлиняются, а нижние укорачиваются. Нейтральный слой, в котором удлинения отсутствуют, в нашем случае совпадает со средним диаметром трубы. Таким образом, степень деформации можно оценить как отношение наружного периметра трубы к среднему периметру

$$\epsilon_{\text{нар}} = \frac{P_{\text{нар}}}{P_{\text{сред}}}$$

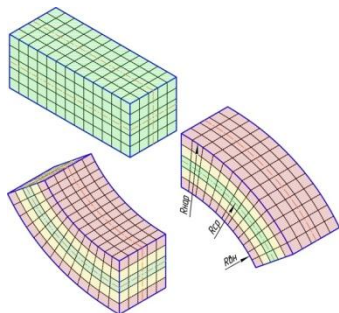


Рис. 11. Чистый изгиб

На рисунке 12 представлен участок диаграммы растяжения. Для того чтобы получить нужную деформацию кромок, а следовательно и радиус этих кромок, необходимо преодолеть

предел текучести металла. До точки А металл не получает остаточных деформаций. Следовательно, чтобы получить деформацию, необходимо преодолеть предел текучести (точку А) – 0,2%, где остаточная деформация равна 0,2%. При этом суммарная деформация должна составлять, соответственно, сумму остаточной и обратимой деформаций. Последнюю приблизительно приравняем к 0,2 % - до предела пропорциональности.

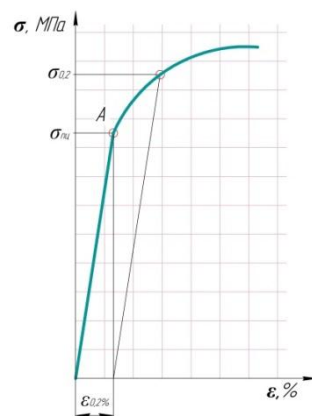


Рис. 12. Участок диаграммы растяжения металла

Таким образом, для получения необходимого радиуса трубы, калибровка нижнего догибочного инструмента должна создавать относительное удлинение по наружному диаметру равное сумме 0,2% остаточной деформации и отношения наружного периметра к среднему периметру трубы  $\gamma = \frac{P_{\text{нар}}}{P_{\text{сред}}} + 0,2\%$ .

Суммарное относительное удлинение подбираем итерационно. Результаты подбора радиусов инструмента показаны в таблице 1.

Таблица 1а  
Результаты расчета относительного удлинения по наружному диаметру труб некоторых типоразмеров

Внутренний Ø, мм	Толщина стенки, мм	Наружный Ø, мм	Средний Ø, мм	Наружный периметр, мм	Средний периметр, мм	γ <sub>нар</sub> , %
1153	30,9	1214,8	1183,90	3816,41	3719,33	2,61
1153	34,6	1222,2	1187,60	3839,65	3730,96	2,91
1184	17,5	1219	1201,50	3829,60	3774,62	1,46
660,2	25,4	711	685,60	2233,67	2153,88	3,70
1374	23	1420	1397,00	4461,06	4388,80	1,65
609,2	25,4	660	634,60	2073,45	1993,65	4,00

Результаты расчета радиусов нижнего инструмента для догибки кромок труб некоторых типоразмеров

Внутренний Ø, мм	Толщина стенки, мм	Наружный Ø, мм	Средний Ø, мм	Наружный периметр, мм	Средний периметр, мм	γ, %	Необходимый радиус инструмента, мм
1153	30,9	1214,8	1183,90	3552,85	3455,77	2,81	565,45
1153	34,6	1222,2	1187,60	3604,60	3495,90	3,11	573,69
1184	17,5	1219	1201,50	3366,96	3311,99	1,66	535,87
660,2	25,4	711	685,60	2126,05	2046,25	3,90	338,37
1374	23	1420	1397,00	3978,88	3906,63	1,85	633,26
609,2	25,4	660	634,60	1979,85	1900,05	4,20	315,10

#### 4.3.4. Методика расчета смещения центра кривизны

На рисунке 13 представлена схема для расчета смещения центра кривизны. Синяя и фиолетовая полуокружности образованы путем продолжения рабочей поверхности нижнего вала. Красная полуокружность получена путем имитации сборки трубы, т.е поворотом

фиолетовой полуокружности вокруг точки О до закрытия зазора. В результате такого поворота центр полуокружности F сместился до точки F', треугольник МКН переместился до треугольника М'К'Н'. φ - угол поворота. Н- технологическое яблоко, которым мы задаемся. А Δ(дельта) – смещение, которое нам необходимо найти.

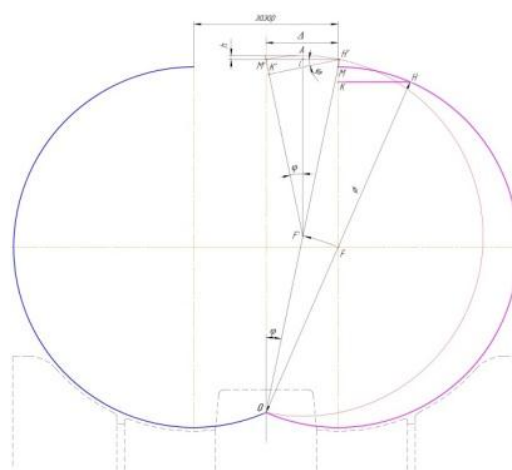
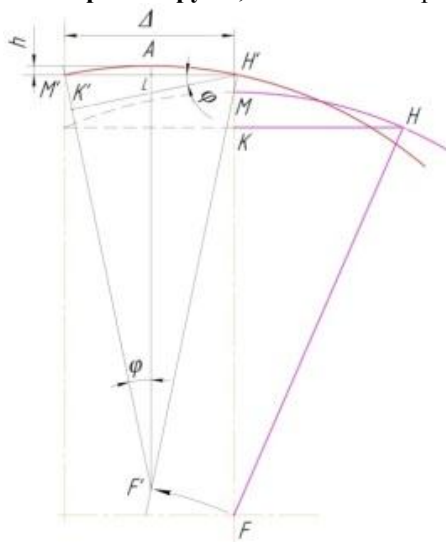


Рис. 13. Расчетная схема для расчета смещения центра кривизны

Путем геометрического расчета находим необходимое смещение Δ.

$$\begin{aligned}
 LF' &= R - h; LM' = \sqrt{R^2 - LF'^2} = \sqrt{2Rh - h^2}; M'H' \\
 &= 2LM' = 2\sqrt{2Rh - h^2}; \\
 K'H' &= KN = D; \cos \varphi = \frac{\Delta}{M'H'}; \cos \varphi = \frac{LF'}{R}; \Delta \\
 &= \frac{LF' * M'H'}{R}; \\
 \Delta &= \frac{2(R - h)\sqrt{2Rh - h^2}}{R}
 \end{aligned}$$

**4.3.5. Двух стадийная догибка кромок.** Как было указано в п. 4.1.2. труба размером 813 x 39 мм X765 может быть сформована без выхода за пределы силовых возможностей 3-х валковой листогибочной машины на растворе нижних валков 800 мм и более. В результате минимальная длина прямых участков войдет в интервал 340÷360 мм. При номинальном диаметре трубы 813 мм, когда максимальный охват догибки составит не более 250÷270 мм, такая формовка потребует

двухстадийной догибки, т. е. включения в технологическую линию дополнительной догибочной установки. В результате зона догибки может быть разделена на 2 перекрывающиеся между собой части с обработкой каждой из частей по отдельности. Данная мера вполне осуществима, и не потребует серьезных затрат на строительные работы. Разработанная методика расчета калибровок догибочного инструмента универсальна и подходит для расчета калибровок инструмента предварительной догибки кромок.

#### 5. Заключение.

ОАО «Волжский трубный завод» на сегодняшний день среди российских производителей прямошовных сварных труб большого диаметра имеет наименее металлоемкое и энергонасыщенное технологическое оборудование, самый простой и дешевый технологический инструмент. Тем не менее, как показано в представленной работе, возможно в

сжатые сроки и путем минимальных затрат расширить технологические возможности линии по производству прямошовных труб ОАО «ВТЗ» до уровня основных российских конкурентов. Для чего необходимо:

- Приобрести и установить вторую установку для догибки кромок;
- Спроектировать и изготовить усиленный, снабженный ребрами жесткости, суппорт верхнего формовочного вала Ø300 мм;
- Пересмотреть калибровки догибочного инструмента.

Основная часть расчетов, включенных в данную работу, подтверждена фактическими данными, полученными в ходе изготовления труб для подводной части проекта «Северный Каспий», т. е. труб размером 711 x 25,4 мм X65; 660 x 25,4 мм X65 и 559 x 20,6 мм X60.