

УДК 621.774

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОШИВКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК В КОСОВАЛКОВОМ ПРОШИВНОМ СТАНЕ ДИШЕРА НА ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ

Ю. Л. БОБАРИКИН, Ю. Л. ГЕРАСИМОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: горячекатаная бесшовная труба, гильза, прошивка, режим прошивки.

Введение

Для получения конкурентоспособной трубной продукции в жестких условиях непрерывно возрастающих требований к качественным параметрам труб требуется непрерывное совершенствование технологии получения гильз как основной операции трубного передела. Важной задачей в практике современного трубного производства является освоение технологии производства гильз из круглых непрерывнолитых заготовок (НЛЗ), позволяющей уменьшить себестоимость изготовления труб вследствие исключения «лишнего» передела на крупносортовых прокатных станах (блюмингах), снизить энергоемкость процесса прошивки благодаря наличию осевой ликвации и центральной пористости в центральной зоне НЛЗ. Несмотря на рост использования НЛЗ при производстве труб, литые заготовки обладают следующими недостатками: пониженная пластичность металла и возможное ухудшение качества внутренней поверхности труб из-за наличия остатков непроработанной литой структуры.

На косовалковом прошивном стане Дишера ТПА 20-168 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – ОАО БМЗ) за последние годы был проведен ряд исследовательских работ, направленных на отладку технологии прокатки труб из НЛЗ диаметром 200 мм, улучшение качества гильз и соответственно труб, повышение стойкости технологического инструмента прошивного стана.

Цель работы – определение технологических параметров прошивки непрерывнолитой заготовки в процессе получения полой трубной заготовки – гильзы, обеспечивающих снижение дефектообразования на внутренней поверхности гильзы.

Исследования выполнены на основе анализа имеющихся решений и результатов экспериментальных исследований.

Основная часть

Исследование настройки прошивного стана. Геометрический профиль прошивной оправки, калибровка валков и настройка очага деформации прошивного стана оказывают основное влияние на распределение обжатий в зоне деформации, стойкость оправок и получение качественных гильз.

В практике трубного производства встречаются оправки с коническими, сферическими рабочими участками, а также с профилем, очерченным специальной кривой [6]. Несмотря на отсутствие устоявшегося мнения о рациональной форме оправ-

ки, наиболее распространены оправки со сферической рабочей частью. Водоохлаждаемые сферические оправки, применяемые на прошивном стане ОАО БМЗ, состоят из следующих участков (рис. 1): носок l_n (может отсутствовать), рабочий конус, калибрующий участок или конус поперечной раскатки l_k , цилиндрический поясok $l_{ц}$, обратный конус $l_{о.к}$ и хвостовая часть $l_{х.ч}$.

Как известно, выдвижение оправки за пережим валков определяется условиями первичного и вторичного захвата заготовки (для обеспечения заданных значений обжатия перед носком оправки u_0 при выбранных значениях обжатия в пережиме валков u_n):

$$l_1 = \frac{D_3(u_n - u_0)}{2 \operatorname{tg} \varphi_{12} \cdot 100}. \quad (1)$$

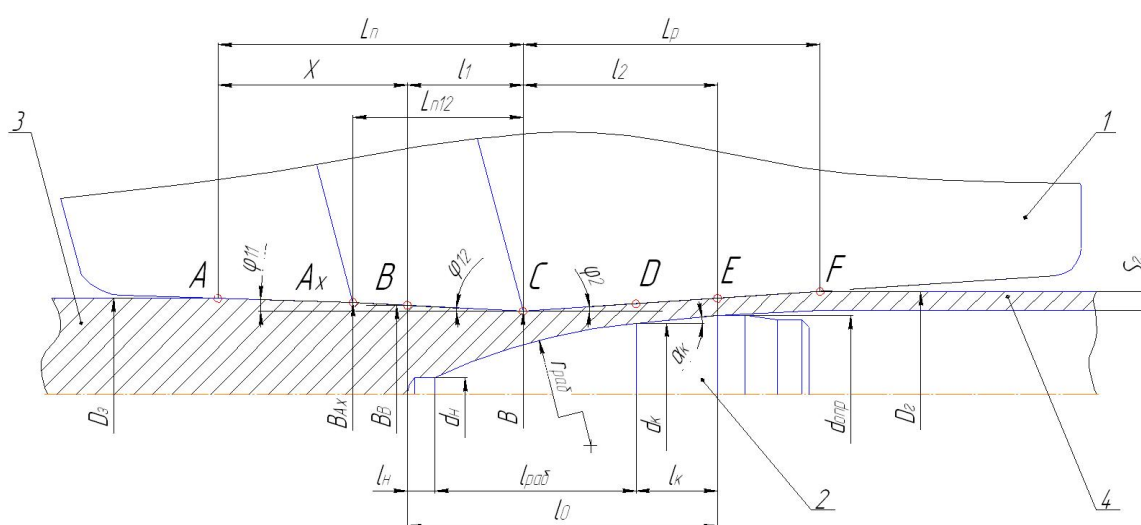


Рис. 1. Схема для расчета калибровки оправки и настройки прошивного стана с указанием характерных сечений очага деформации: A – вход заготовки в валки; A_x – начало участка повышенного обжатия; B – носок оправки; C – пережим валков; D, E – начало и конец калибрующего участка; F – выход гильзы из валков; 1 – валок; 2 – оправка; 3 – заготовка; 4 – гильза

С другой стороны, положение оправки в очаге деформации зависит от длины обжатия сплошной заготовки до контакта с оправкой (рис. 1):

$$l_1 = L_n - X, \quad (2)$$

где L_n – длина очага деформации в конусе прошивки; X – длина обжатия сплошной заготовки до контакта с оправкой.

Во избежание появления внутренних плен японскими исследователями [12] рекомендовано придерживаться следующего соотношения $\frac{X}{D_3}$, показывающего влияние положения оправки на качество внутренней поверхности гильз:

$$\frac{X}{D_3} = 0,4-0,6. \quad (3)$$

Однако данный критерий не учитывает влияние угла подачи валков β .

Критерий обеспечения устойчивого вторичного захвата и преодоления осевого сопротивления оправки, учитывающий влияние β , был предложен немецкими исследователями [14], согласно которому длину X следует принимать соответствующей не менее чем одному обороту заготовки:

$$X = GF\pi D_3 \operatorname{tg}\beta, \quad (4)$$

где $GF = 1,0-1,5$ – коэффициент захвата, учитывающий количество оборотов заготовки в зоне очага деформации перед оправкой (меньшие значения – для высоколегированных сталей и НЛЗ, большие значения – для горячекатаной заготовки).

При угле подачи $\beta = 12^\circ$ из (4) следует

$$\frac{X}{D_3} = 0,67-1,0. \quad (5)$$

Анализ режимов прошивки (рис. 2) на прошивном стане ТПА 20-168 ОАО БМЗ показывает, что в общем случае соотношение $\frac{X}{D_3}$ значительно превышает рекомендации, что объясняется применением повышенных обжатий, способствующих появлению внутренних трещин.

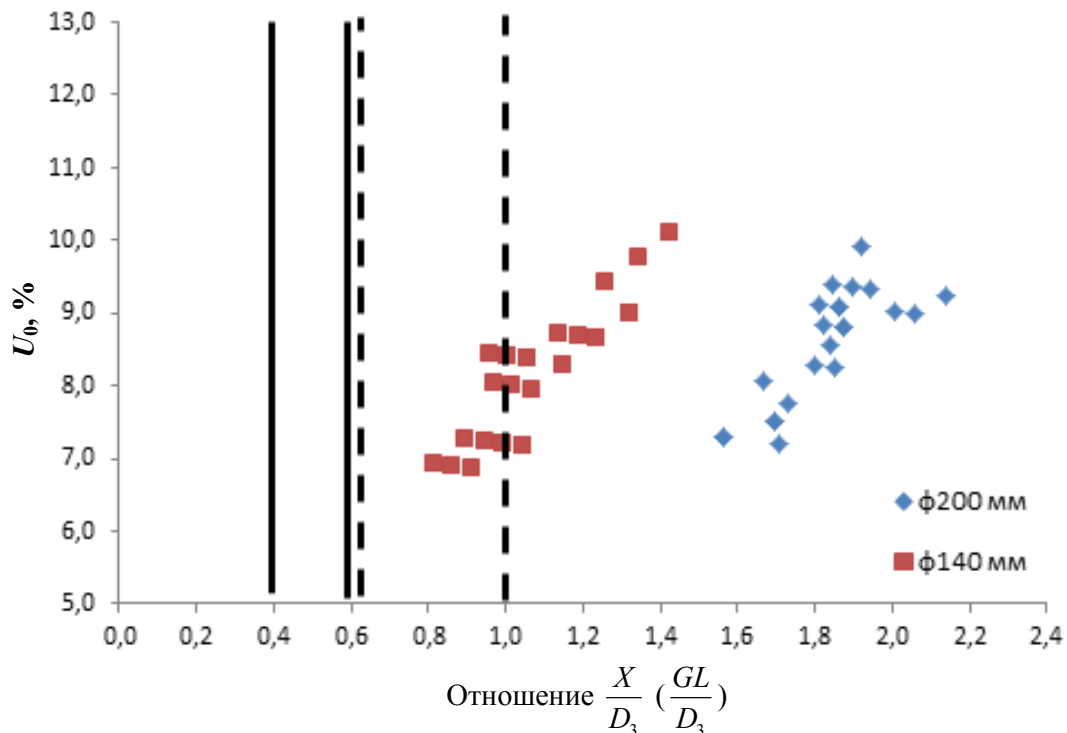


Рис. 2. Зависимость обжатия перед носком оправки для катаных заготовок диаметром 140 мм и НЛЗ диаметром 200 мм прошивного стана ТПА 20-168 от отношения $\frac{X}{D_3}$

В соответствии с приведенным анализом рекомендуется снизить настроечное значение $\frac{X}{D_3}$ в действующей технологии прошивки с целью снижения дефектообразования на внутренней поверхности гильзы.

Исследование обжатий в очаге деформации. Деформационный режим прошивки определяется исходной пластичностью металла (маркой стали и металлургическим способом производства заготовок).

Область заводских режимов прокатки (рис. 3, поз. 1) свидетельствует о значительном разбросе значений обжатий: u_0 – от 7 до 10 %, u_n – от 11 до 16 %. Область режимов, допускаемых по таблицам прокатки (рис. 3, поз. 2), включает чрезмерно высокие обжатия: u_0 до 12 %, u_n до 17 %. Причем заводские режимы обжатий являются общими для заготовок из углеродистой и легированной стали, для катаных заготовок и для НЛЗ, которые различаются по своей пластичности.

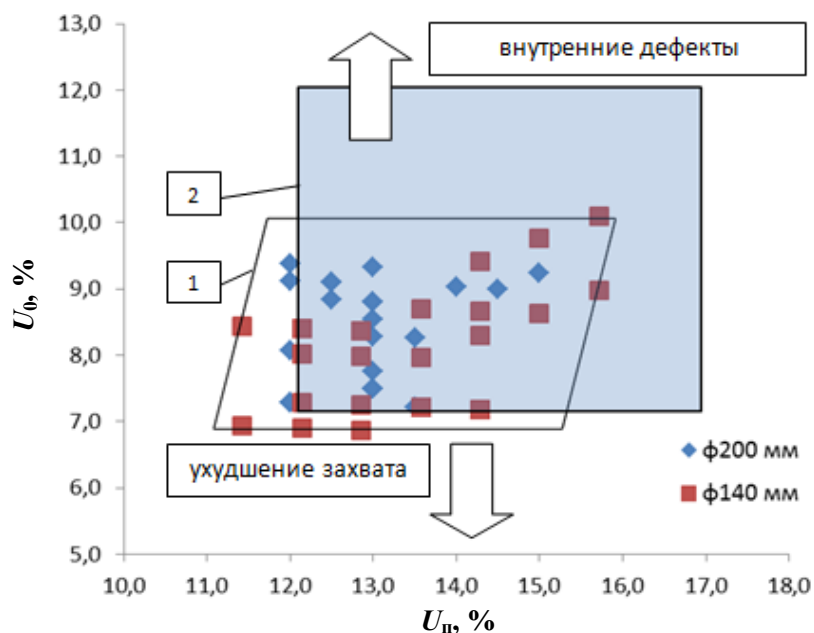


Рис. 3. Режимы прошивки для катаных заготовок диаметром 140 мм и НЛЗ диаметром 200 мм прошивного стана ТПА 20-168: 1 – фактические заводские режимы; 2 – заводские режимы, допускаемые по таблицам прокатки

Для сравнения, в табл. 1 приведены характеристики режимов обжатий при использовании ТПА с непрерывным раскатным станом [13].

Таблица 1

Характеристики режимов прошивки на прошивных станах с грибовидными валками при использовании ТПА с непрерывным раскатным станом

Завод (фирма-изготовитель)	Размеры, мм		Коэффициент обжатия по диаметру η	$\frac{D_r}{S_r}$	Коэффициент вытяжки μ	Обжатия $\frac{u_0}{u_n}$, %
	заготовки D_3	гильзы $D_r \times S_r$				
«KSP Steel», г. Павлодар, Казахстан (SMS Meer)	300	328 × 25,6	0,91	12,8	2,9	$\frac{6,6}{11}$
	300	328 × 33		9,9	2,3	$\frac{6,4}{10}$
«ТарМЗ», г. Таганрог, Россия (Danieli)	300	328 × 25,6	0,91	12,8	2,9	$\frac{6,6}{11}$
	300	328 × 33		9,9	2,3	$\frac{6,4}{10}$

Окончание табл. 1

Завод (фирма-изготовитель)	Размеры, мм		Коэффициент обжатия по диаметру η	$\frac{D_r}{S_r}$	Коэффициент вытяжки μ	Обжатия $\frac{u_0}{u_n}$, %
	заготовки D_3	гильзы $D_r \times S_r$				
«СТЗ», г. Полевской, Россия (ЭЗТМ)	290	328 × 20,5	0,88	16,0	3,6	$\frac{5,6}{10,5}$
	290	328 × 36		9,1	2,1	$\frac{5,5}{9,5}$
ОАО «БМЗ – УКХ «БМК», г. Жлобин, Беларусь (SMS Meer)	140	150 × 9,4	0,93	16,0	3,7	$\frac{10,1}{15,7}$
		150 × 16,8		8,9	2,2	$\frac{8,4}{12,1}$
	200	215 × 17,6	0,93	12,2	2,9	$\frac{8,5}{13,0}$
		215 × 22,5		9,6	2,3	$\frac{7,3}{12,0}$

Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что при одинаковых коэффициентах вытяжки μ и отношении $\frac{D_r}{S_r}$, на прошивном стане ТПА 20-168 ОАО БМЗ применяются более высокие обжатия в пережиме валков и перед носком оправки. Несмотря на стабилизацию условий захвата заготовки, использование таких высоких обжатий не всегда рационально. Увеличение обжатий u_0 и u_n способствует росту удельных усилий на оправке в конусе раскатки, что повышает склонность оправки к износу [7]. Также при высоких обжатиях заготовки может произойти вскрытие осевой полости и возникновение дефектов типа «трубопрокатная плена» на внутренней поверхности труб [9]–[11].

После анализа технической литературы [1], [2] и проведения ряда исследований на прошивном стане ОАО БМЗ были предложены новые режимы деформации заготовок с учетом их исходной пластичности, отличающиеся дифференцированным подходом и меньшими деформациями металла при прошивке (табл. 2).

Таблица 2

**Рекомендованные обжатия перед носком оправки и в пережиме валков
(числитель – u_0 , знаменатель – u_n)**

Группа стали	Катаная заготовка	НЛЗ
Мало- и среднеуглеродистая сталь	$\frac{6,5-10}{12-16}$	$\frac{6,5-9,5}{12-16}$
	$\frac{6,5-9,5}{12-15}$	$\frac{6,5-8,5}{12-15}$
Низко- и среднелегированная сталь	$\frac{5-7}{10-14}$	$\frac{5-6,7}{10-14}$
	$\frac{5-7}{10-14}$	$\frac{5-6,7}{10-14}$

Для компенсации ухудшения условий захвата использовали разработанную опытную кольцевую калибровку грибовидных валков прошивного стана [6], как это показано на рис. 4.

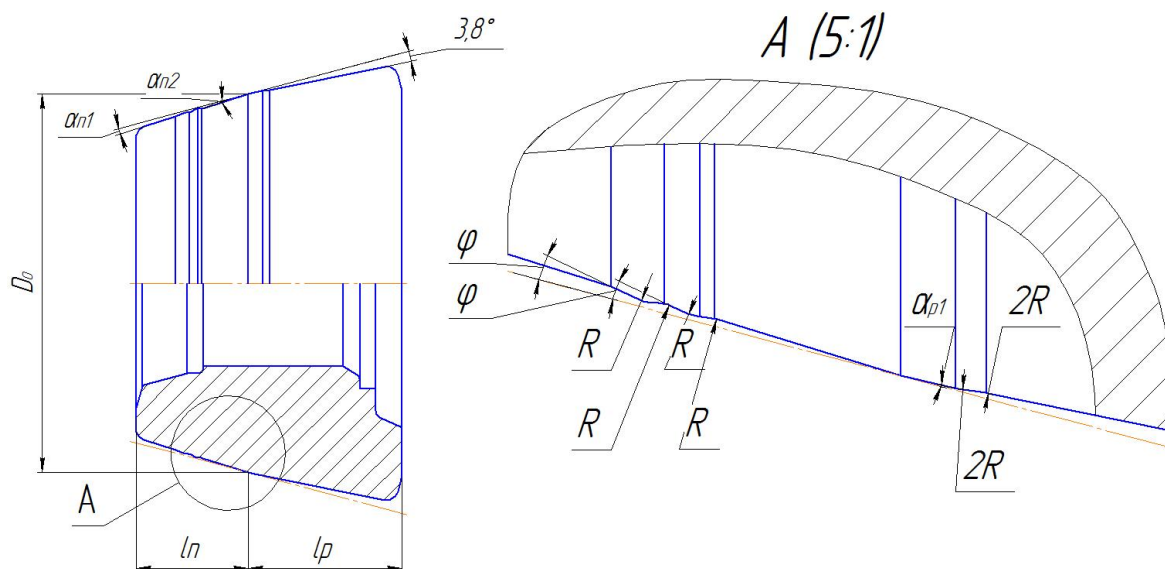


Рис. 4. Схема опытной кольцевой калибровки валков прошивного стана

Для такой калибровки обеспечивается стабильный вторичный захват и преодоление осевого сопротивления оправки, так как длина X соответствует примерно первому обороту заготовки: $X > 0,9\pi D_3 \operatorname{tg}(\beta)$. Соотношение $\frac{X}{D_3} = 0,54$, т. е. находится в пределах рекомендуемого диапазона японскими исследователями [12].

Совокупность данных мероприятий позволила достичь оптимальных условий прошивки и значительно снизить дефектообразование на внутренней и наружной поверхности гильз.

Исследование калибровки прошивной оправки. Калибровку оправки удобно охарактеризовать эмпирическими соотношениями (табл. 3), показывающими отношение размеров основных участков к диаметру оправки. Известно, что с увеличением длины рабочего конуса оправки $\frac{l_{\text{раб}}}{d_{\text{опр}}}$ уменьшается осевое скольжение металла в очаге деформации, возрастает осевая скорость и снижается энергопотребление.

При этом обжатия по длине оправки распределяются более равномерно, что способствует повышению стойкости [5]. С другой стороны, чрезмерно большая длина оправки может привести к закату в заднем конце гильзы из-за недостатка тянущих сил трения в конце цикла прошивки.

Также на осевое сопротивление оправки и условия скольжения металла влияет криволинейность профиля рабочего участка $\frac{r_{\text{раб}}}{d_{\text{опр}}}$, угол калибрующего участка оп-

равки α_k и его длина $\frac{l_k}{d_{\text{опр}}}$.

Таблица 3

Изменения в калибровках оправок прошивного стана ОАО БМЗ с 2007 по 2017 г.

Наименование параметра оправки	Катаная заготовка диаметром 140 мм	НЛЗ диаметром 200 мм	Катаная заготовка диаметром 140 мм	НЛЗ диаметром 200 мм
	Исходные калибровки (2007 г.)		Оптимизированные калибровки (2017 г.)	
Диаметр оправки	96–116 мм	134–164 мм	98–120 мм	154–175 мм
Профиль рабочего конуса	Сферический рабочий конус радиусом $r_{\text{раб}}$, плавно сопряженный с калибрующим участком оправки $l_{\text{к}}$			
Длина рабочего конуса $\frac{l_{\text{раб}}}{d_{\text{опр}}}$	1,1–1,2	1,0–1,1	1,2–1,5	0,9–1,2
Радиус рабочего конуса $\frac{r_{\text{раб}}}{d_{\text{опр}}}$	2,5–3,1	2,1–2,8	2,5–5,4	1,9–2,8
Длина калибрующего участка $\frac{l_{\text{к}}}{d_{\text{опр}}}$	0,6–0,8	0,6–0,8	0,5–0,7	0,6–0,7
Угол калибрующего участка $\alpha_{\text{к}}$	4°40'–4°48'	4°37'–4°55'	3°36'–5°	3°36'–5°
	Для угла выходного конуса валка $\varphi_2 = 4°30'$		Для угла выходного конуса валка $\varphi_2 = 3°48'$	
Длина оправки, участвующая в деформации $\frac{l_{\text{o}}}{d_{\text{опр}}}$	1,7–1,9	1,6–1,9	1,8–2,2	1,5–1,9
Общая длина оправки $\frac{l}{d_{\text{опр}}}$	1,9–2,3	1,9–2,3	2,3–2,8	2,0–2,5
Стойкость, прошивок/оправку	< 100 (нестабильные геометрические размеры гильзы)		132–270	62–258

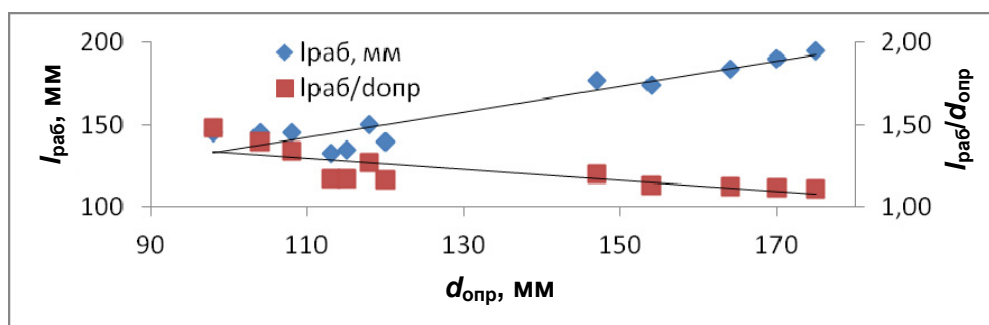
Как видно из табл. 3, в заводские калибровки прошивных оправок ОАО БМЗ были внесены значительные изменения. Для увеличения стойкости инструмента и стабилизации геометрических параметров гильз внедрили систему внутреннего охлаждения оправок, интенсифицирующей теплоотвод от оправки в ходе прошивки, разработали новые калибровки водоохлаждаемых оправок с увеличенной длиной рабочей части $\frac{l_{\text{раб}}}{d_{\text{опр}}}$.

В целях улучшения условий раскатки проектирование калибровок

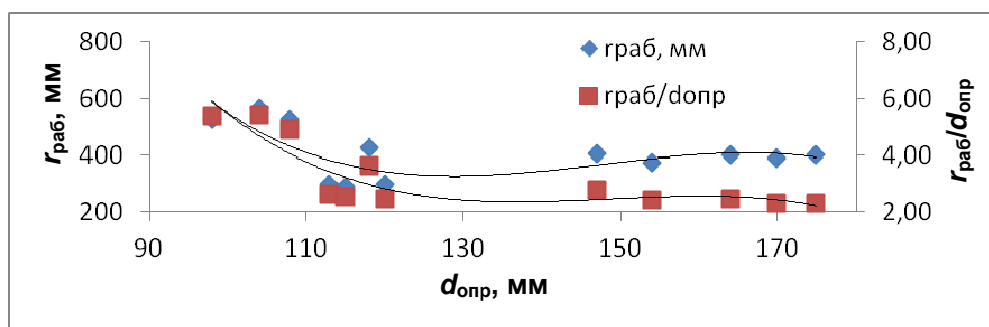
оправок вели с учетом необходимости применения углов раскатного конуса $\alpha_{\text{к}}$ на 1,0–1,5° больше угла выходного конуса валка. Для снижения деформационной нагрузки, воспринимаемых оправкой и валками по длине их рабочих поверхностей, усовершенствовали профиль выходного конуса валков прошивного стана – использовали меньший угла конусности [6].

Зависимости для расчета калибровки оправок прошивного стана (рис. 5), основных параметров циклического формоизменения заготовки-гильзы по длине очага деформации, рекомендации по выбору режимов прошивки и настройке прошивного стана, позволяющие взаимосвязанно характеризовать процесс прошивки с позиции деформируемости и технологичности, проводились на основании адекватной численной модели процесса поперечно-винтовой прокатки [4] и отражены в прикладной методике [8].

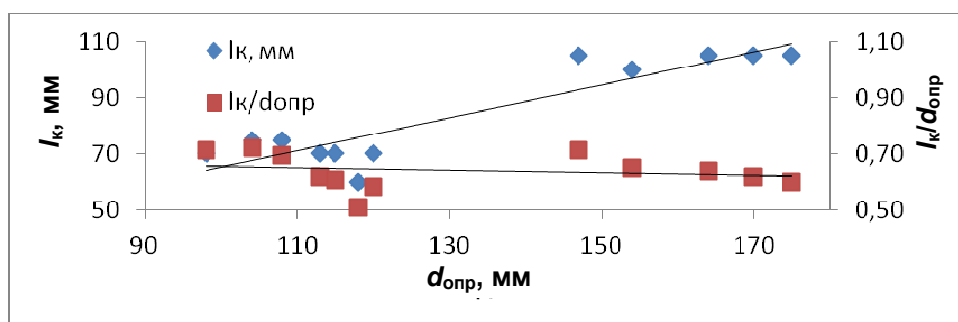
Практическая применимость работы [8] в условиях ТПА 20-168 ОАО БМЗ подтверждается актом внедрения от 19.07.2017 г.



а)



б)



в)

Рис. 5. Распределение оптимизированных параметров калибровки оправок прошивного стана ОАО БМЗ для прошивки катаной и литой заготовки: а – длина рабочего конуса; б – радиус рабочего конуса; в – длина калибрующего участка l_k

Исследование угла подачи. Проектом SMS Meer рекомендован угол подачи валков $\beta = 12^\circ$ с возможностью его регулировки от 8° до 15° .

Лабораторными экспериментами доказано [2], что за счет увеличения угла подачи длина очага деформации уменьшается, изменяется обжатие перед носком оправки u_o ,

повышается критическое обжатие $u_{кр}$ и уменьшается вероятность осевого разрушения металла перед носком оправки. Вместе с тем с увеличением марочного состава сталей, используемых при производстве труб в условиях ТПА 20-168 ОАО БМЗ, рациональным представляется дифференцировать выбор данного настроечного параметра применительно к каждой группе стали.

При освоении технологии прокатки труб из новых конструкционных легированных сталей (4130, 30ХМА, AISI 4130 mod 3, 40ХН2МА и т. д.) проводились исследования по определению влияния углов подачи на дефектообразование при прошивке. Для оценки процесса анализировались энергосиловые параметры работы электродвигателей привода валков прошивного стана по его максимально допускаемым значениям.

В общем случае установлено, что для снижения количества внутренних плен, прошивку заготовок из легированной стали, содержащей более 2 % легирующих элементов, рекомендуется осуществлять при угле подачи $\beta = 13,5^\circ$. Улучшение качества внутренней поверхности гильз и труб при возрастании угла подачи объясняется снижением числа циклов обжатий заготовки (цикличности деформации) и накопленной степени деформации сдвига.

Результаты исследований. Одним из характерных примеров совершенствования технологии получения гильз является совершенствование технологии прокатки труб из НЛЗ диаметром 200 мм стали марки AISI 4130 mod 3 (табл. 4).

Таблица 4

Химический состав стали марки AISI 4130 mod-3

Показатель	Содержание элементов, % мас.							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	N
Требования заводской спецификации на производство труб из стали AISI 4130 mod 3	0,24–0,30	0,20–0,35	1,00–1,20	Не более 0,015	Не более 0,010	0,80–1,10	0,35–0,45	Не более 0,010

Так, при прокатке труб $\varnothing 101,6 \times 8,38$ мм из данных заготовок по первичным (опытным) режимам (табл. 5) в условиях ТПА 20-168 ОАО БМЗ был получен высокий уровень дефектов на внутренней поверхности в виде плен. Как известно, причиной возникновения внутренних плен при прошивке является центральное разрушение металла перед носком оправки, что является следствием критической его деформации в осевой зоне и низкой пластичности металла [2]. Другими словами, на появление внутренних плен может влиять большое обжатие перед носком оправки, перегрев заготовки, сваривание поверхности прошивной оправки с гильзой и износ оправки, малый угол подачи или совокупность данных факторов.

Таблица 5

Опытные параметры прокатки гильз и настройка прошивного стана

Диаметр оправки, мм	Коэффициент вытяжки	Коэффициент овализации	Угол подачи, град	Обжатие перед носком оправки u_0 , %	Обжатие в пережиме валков u_n , %	Температура выдачи заготовок из печи, °C	Уровень брака по внутренним дефектам
175	3,6	1,13	12	8,5	13,8	1238–1245	до 62,6 %
167	3,2–3,6	1,13–1,16	12–13,5	7,2–10,8	12,5–15,5	1240–1258	до 54,2 %

Из недоката НЛЗ диаметром 200 мм, заторможенного в очаге деформации прошивного стана, видно, что рыхлости и пустоты в центральной зоне имеются еще до захвата заготовки валками прошивного стана (рис. 6, участок I), а также то, что они смещены относительно центра заготовки на 5 мм.

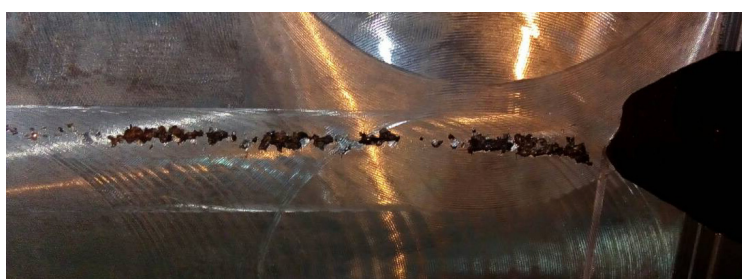


Рис. 6. Осевое разрушение НЛЗ диаметром 200 мм перед носком оправки

На участке II, соответствующем зоне захвата металла валками и дисками Дишера, вскрытия полости не происходит. На участке III, соответствующем зоне прошивки, происходит заваривание несплошностей центральной зоны. Размер участка здорового металла перед носком оправки составляет около 5 мм. При визуальном осмотре внутренней поверхности недоката были выявлены мелкие плены, совпадающие с траекторией заваренного участка заготовки при прошивке. Это может быть обусловлено тем, что при раскатке на калибрующем участке оправки заваренный участок металла разрывается из-за недостаточной толщины участка здорового металла перед носком оправки.

Проведенные в дальнейшем исследования показали, что уменьшение обжатия металла перед носком оправки и в пережиме валков, с одновременным снижением температуры нагрева заготовок в нагревательной печи на 20 °С и увеличением угла подачи валков с 12° до 13,5° позволили снизить уровень внутренних плен на 50 % (табл. 6). Стабилизация устойчивости первичного и вторичного захвата заготовки при оптимизированных режимах прошивки достигнута применением валков с кольцевой калибровкой.

Таблица 6

Оптимизированные параметры прокатки гильз и настройка прошивного стана

Диаметр оправки, мм	Коэффициент вытяжки	Коэффициент овализации	Угол подачи, град	Обжатие перед носком оправки u_0 , %	Обжатие в пережиме валков u_n , %	Температура выдачи заготовок из печи, °С	Уровень брака по внутренним дефектам
167	3,2	1,13	12–13,5	7,8–8,3	13,0–13,5	1219–1238	До 3,6 %
167	3,2	1,13	13,5	7,8	13,0	1226–1229	До 3,5 %

Заключение

В результате комплексных исследований по совершенствованию технологии прошивки заготовок на прошивном косо валковом стане Дишера ТПА 20-168 ОАО БМЗ были достигнуты следующие результаты:

- разработана математическая модель процесса прошивки и внедрена в производство методика расчета калибровки оправок;
 - оптимизированы температуры прошивки индивидуально для различных групп марок сталей;
 - проведена корректировка режимов деформации катаных и непрерывнолитых заготовок с учетом их исходной пластичности;
 - проведена корректировка угла подачи при прошивке заготовок из легированной стали, содержащей более 2 % легирующих элементов, с 12° до 13,5°;
 - усовершенствованы калибровки оправок и валков прошивного стана.
- Проведенные мероприятия позволили:
- уменьшить долю брака по внутренним пленам на 50 %;
 - увеличить стойкость прошивных оправок на 32–170 %.

Литература

1. Технология производства труб / И. Н. Потапов [и др.]. – М. : Металлургия, 1994. – 528 с.
2. Данилов, Ф. А. Горячая прокатка и прессование труб / Ф. А. Данилов, А. З. Глейберг, В. Г. Балакин. – М. : Металлургия, 1972. – 576 с.
3. Емельяненко, П. Т. Теория косо и пилигримовой прокатки / П. Т. Емельяненко. – М. : Metallurgizdat, 1949. – 491 с.
4. Герасимов, Ю. Л. Совершенствование калибровки оправки диаметром 120 мм для прошивки заготовок в двухвалковом стане поперечно-винтовой прокатки / Ю. Л. Герасимов, С. В. Авдеев, Ю. Л. Бобарикин // *Металлург.* – 2015. – № 9. – С. 62–65.
5. Анализ стойкости оправок на прошивном стане Дишера / А. В. Король [и др.] // *Сталь.* – 2011. – № 2. – С. 59–61.
6. Совершенствование калибровки грибовидных валков прошивного стана трубопрокатного цеха / В. С. Коровин [и др.] // *Литье и металлургия.* – 2017. – № 2 (87). – С. 46–50.
7. Вавилкин, Н. М. Исследование силовых условий работы оправок при прошивке в стане винтовой прокатки / Н. М. Вавилкин, В. А. Попов, А. М. Степашин // *Изв. вузов. Черн. металлургия.* – 1992. – № 7. – С. 36–39.
8. Ком, О. И. Методика расчета калибровки оправок косо валкового стана с грибовидными валками и приводными направляющими дисками Дишера (рекомендательное пособие для технических специалистов ТПЦ) / О. И. Ком, Ю. Л. Герасимов, Ю. Л. Бобарикин. – Жлобин, 2017.
9. Шевякин, Ю. Ф. Производство труб / Ю. Ф. Шевякин, А. З. Глейберг. – М. : Металлургия, 1968. – 440 с.
10. Чекмарев, А. П. Теория трубного производства / А. П. Чекмарев, В. М. Друян. – М. : Металлургия, 1976. – 304 с.
11. Технология трубного производства / В. Н. Данченко [и др.]. – М. : Интернет Инжиниринг, 2002. – 640 с.
12. Hayashi, S. ISIJ. Intern. / S. Hayashi, T. Yamakawa. – 1998. – Vol. 37, № 11. – P. 1255.

13. Топоров, В. А. Освоение современной технологии производства труб из непрерывнолитых заготовок / В. А. Топоров // Сталь. – 2013. – № 1. – С. 39–43.
14. Обучающее руководство фирмы SMS MEER «Прошивка на косовалковом стане – основы и технология», 2006.

Получено 16.07.2019 г.