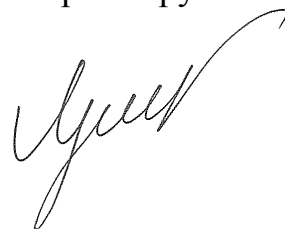


На правах рукописи



ЛУБЕ ИВАН ИГОРЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ
ПРОКАТКИ ТРУБ ИЗ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ НА
АГРЕГАТАХ С НЕПРЕРЫВНЫМ СТАНОМ**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2010

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования трубного производства в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Романцев Борис Алексеевич**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Матвеев Борис Николаевич**
(ГОУ ВПО «Московский
государственный университет
приборостроения и информатики»,
г. Москва),

кандидат технических наук

Фролов Андрей Николаевич
(компания Danieli, г. Москва)

Ведущая организация:

ЗАО «Группа ЧТПЗ»

Защита состоится « » мая 2010 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов» по адресу:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Автореферат разослан « » апреля 2010 года

Справки по телефону: (495) 955-01-27
e-mail: irina@pdss.misis.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.М. Ионов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В производстве бесшовных труб наиболее перспективным является применение трубопрокатных агрегатов (ТПА) с непрерывным станом и использование операции прошивки в двухвалковых станах винтовой прокатки.

В качестве исходной заготовки российские и зарубежные производители трубной продукции переходят на использование непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) круглого сечения. При выборе количества типоразмеров НЛЗ возникает необходимость учета, зачастую, противоречивых интересов сталеплавильного и трубопрокатного производств. Одним из решений является получение из заготовки одного типоразмера гильз и труб широкого сортамента. При этом желательно использовать заготовку меньшего диаметра, что обеспечит благоприятные условия кристаллизации и формирование более равновесной структуры.

Производство горячедеформированных труб широкого сортамента из заготовок меньшего диаметра требует, чтобы процесс прошивки сопровождался увеличением наружного диаметра гильзы («подъемом»). В некоторых случаях увеличение диаметра гильзы относительно исходной заготовки должно составлять более 20 %. Обычно такого «подъема» достигают на прошивных станах с грибовидными валками. Однако при реконструкции действующих трубопрокатных предприятий с целью расширения сортамента производимой продукции и получения труб с требуемыми показателями качества возникает необходимость использования существующих прошивных станков с бочковидными валками. В нашей стране на протяжении многих лет технология прошивки с большим «подъемом» (более 20 %) не применялась, и её внедрение требует изучения особенностей данной схемы прошивки.

Значительный прогресс в повышении качества производимой на ТПА с непрерывным станом продукции и расширении диапазона размеров бесшовных труб был достигнут в результате создания новых непрерывных станков с трехвалковыми клетями. Основными производителями оборудования агрегатов подобного типа являются немецкая компания «SMS Meer» и итальянская «Danieli». Процесс раскатки гильзы в черновую трубу на непрерывном стане с трехвалковыми клетями мало изучен в России и информацию о нём возможно почерпнуть лишь из статей иностранных специалистов, а также из рекламных проспектов основных поставщиков оборудования. В связи с этим актуальными являются исследование данной технологии раскатки и изучение особенностей процесса с последующей разработкой методики расчета калибровки валков и скоростных режимов прокатки.

Цель и задачи работы. Целью работы являются исследование и совершенствование технологии прошивки непрерывнолитых заготовок круглого

сечения диаметром более 300 мм в гильзы с «подъемом» по диаметру не менее 20 % в двухвалковых станах с валками бочковидной формы и раскатки гильз в черновую трубу на непрерывном стане с трехвалковыми клетями.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основании экспериментальных исследований технологии прошивки непрерывнолитых заготовок установить принципиальную возможность прошивки НЛЗ круглого сечения диаметром более 300 мм на двухвалковых станах винтовой прокатки с бочковидными валками и направляющими линейками;

- исследовать и усовершенствовать технологию прошивки с «подъемом» по диаметру в двухвалковых прошивных станах винтовой прокатки с бочковидными валками и направляющими линейками;

- на основании анализа очага деформации разработать калибровку технологического инструмента прошивного стана и определить режимы, обеспечивающие стабильный «подъем» гильз по диаметру;

- определить рациональные режимы раскатки гильз в черновую трубу на непрерывном оправочном стане с трехвалковыми клетями;

- разработать методику расчета калибровки валков непрерывного оправочного стана с трехвалковыми клетями;

- разработать методику расчета скоростных параметров раскатки гильз на контролируемо-перемещаемой оправке в непрерывном оправочном стане с трехвалковыми клетями.

Научная новизна:

- на основании проведенных экспериментальных прошивок непрерывнолитых заготовок на стане-элонгаторе ОАО «Волжский трубный завод» установлена возможность стабильного ведения процесса прошивки НЛЗ круглого сечения диаметром более 300 мм в станах винтовой прокатки с бочковидными валками и направляющими линейками;

- в результате проведенных экспериментальных исследований процесса прошивки определены закономерности влияния калибровки инструмента стана винтовой прокатки с бочковидными валками и технологических режимов на стабильное течение процесса прошивки на «подъем»;

- на основании анализа деформационно-скоростных параметров процесса непрерывной раскатки в двух- и трехвалковых клетях разработана методика расчета калибровки рабочих валков непрерывных станов с трехвалковыми клетями, позволяющая назначать рациональное распределение обжатий по клетям, исключив переполнение калибров металлом;

- разработана методика расчета скоростных параметров процесса раскатки гильзы на контролируемо-перемещаемой оправке в непрерывных станах с трехвалковыми клетями, основанная на построении в CAD/CAM-системах калибров валков и определении площадей поперечных сечений труб по клетям.

Реализация результатов работы:

- на основании проведенных исследований процесса прошивки заготовок с «подъемом» по диаметру в условиях НИТУ «МИСиС» определены режимы и разработаны рекомендации по настройке стана и калибровке рабочего инструмента для реализации процесса прошивки непрерывнолитых заготовок в гильзы большого диаметра на стане-элонгаторе ТПА 159-426 ОАО «Волжский трубный завод»;
- для непрерывного стана с трехвалковыми клетями PQF 10 3/4" ОАО «ТАГМЕТ» рассчитана калибровка рабочих валков и режимы раскатки, обеспечивающие повышение стабильности процесса и улучшение качества труб;
- результаты работы внедрены в учебный процесс студентов, обучающихся по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Методы исследований и достоверность результатов. Для разработки методики расчета калибровки инструмента прошивного стана и валков непрерывного стана с трехвалковыми клетями использована объектно-ориентированная среда автоматизированного проектирования AutoCAD и система твердотельного моделирования SolidWorks, а также основные положения и зависимости, полученные ранее при изучении процесса продольной прокатки труб в непрерывных оправочных станах с двухвалковыми клетями.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, основаны на достоверных экспериментальных данных. Они базируются на использовании математических методов моделирования, анализе результатов проведенных исследований и их статистической обработке, применении современных приборов и методик.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на: конференции «63-е Дни науки студентов МИСиС: международные, межвузовские и научно-технические конференции» (Москва, 2008); конференции «64-е Дни науки студентов МИСиС: международные, межвузовские и научно-технические конференции» (Москва, 2009); международной юбилейной конференции «Прогрессивные технологии пластической деформации» (Москва, 2009); V молодежной научно-практической конференции ОАО «Трубная металлургическая компания» (Сочи, 2009).

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 9 печатных работах, из них 5 статей – в научных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов, изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 19 таблиц, библиографический список из 121 наименований и 4 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована направленность диссертационной работы, обоснованы её актуальность, раскрыта научная новизна и практическая значимость, изложена структура диссертации.

В первой главе представлены результаты сравнительного анализа различных способов получения заготовок для производства бесшовных труб. Отмечено, что в качестве исходной заготовки рекомендуется использовать непрерывнолитую заготовку круглого сечения. При этом необходимо стремиться к минимизации числа типоразмеров НЛЗ для обеспечения всей производственной программы, а производство горячедеформированных труб большого диаметра целесообразно проводить с использованием процесса прошивки с «подъемом» по диаметру.

Отмечены особенности прошивки заготовок в двухвалковых станах винтовой прокатки с различным направляющим инструментом, трехвалковых станах и в станах пресс-валковой прошивки. Выявлено отсутствие экспериментальных исследований процесса прошивки заготовок с «подъемом» по диаметру в станах с бочковидными валками.

Рассмотрены достоинства и недостатки различных вариантов раскатки гильзы в черновую трубу на ТПА с автомат-станом, непрерывным станом, пилигримовым станом, трехвалковым раскатным станом и реечными станами.

Установлена высокая эффективность использования в качестве раскатных – непрерывных станов. К преимуществам процесса непрерывной раскатки можно отнести его высокую производительность, минимальные технологические отходы и расположение оборудования, удобное для автоматизации технологических операций.

Значительный прогресс в качестве производимой продукции и расширении диапазона размеров бесшовных труб был достигнут с созданием новых непрерывных станов с трехвалковыми клетями. Данная технология получает широкое распространение за рубежом и внедряется на отечественных предприятиях.

На основании проведенного обзора научно-технической литературы сформулированы цели и задачи исследований.

Во второй главе представлены результаты исследования технологии горячей прокатки труб на ТПА 159-426 ОАО «Волжский трубный завод» (ОАО «ВТЗ»).

Проведенный анализ существующей технологии свидетельствует о недостатках производства труб большого диаметра (до 426 мм) из квадратной НЛЗ, обусловленных рядом причин:

- наличие характерных дефектов, обусловленных качеством квадратной НЛЗ (блюмов);
- несимметричностью нагрева блюмов;

– неоднородностью деформации при прошивке в пресс-валковом стане и высокой энергоемкостью процесса;

– существенной потерей температуры исходной заготовки по ходу процесса.

Тепловое состояние заготовки по ходу технологического процесса оказывает влияние на качество труб и энергоемкость процесса. Для оценки температурного режима прокатки труб на ТПА 159-426 с момента выдачи заготовок квадратного сечения размером 360×360 мм (сталь 20) из печи до выхода трубы из извлекательно-калибровочного стана проводились хронометраж и замеры температуры наружной поверхности прокатываемого металла переносным пирометром «ЛУЧ» с погрешностью до 1,0 %. Результаты приведены на рисунке 1.

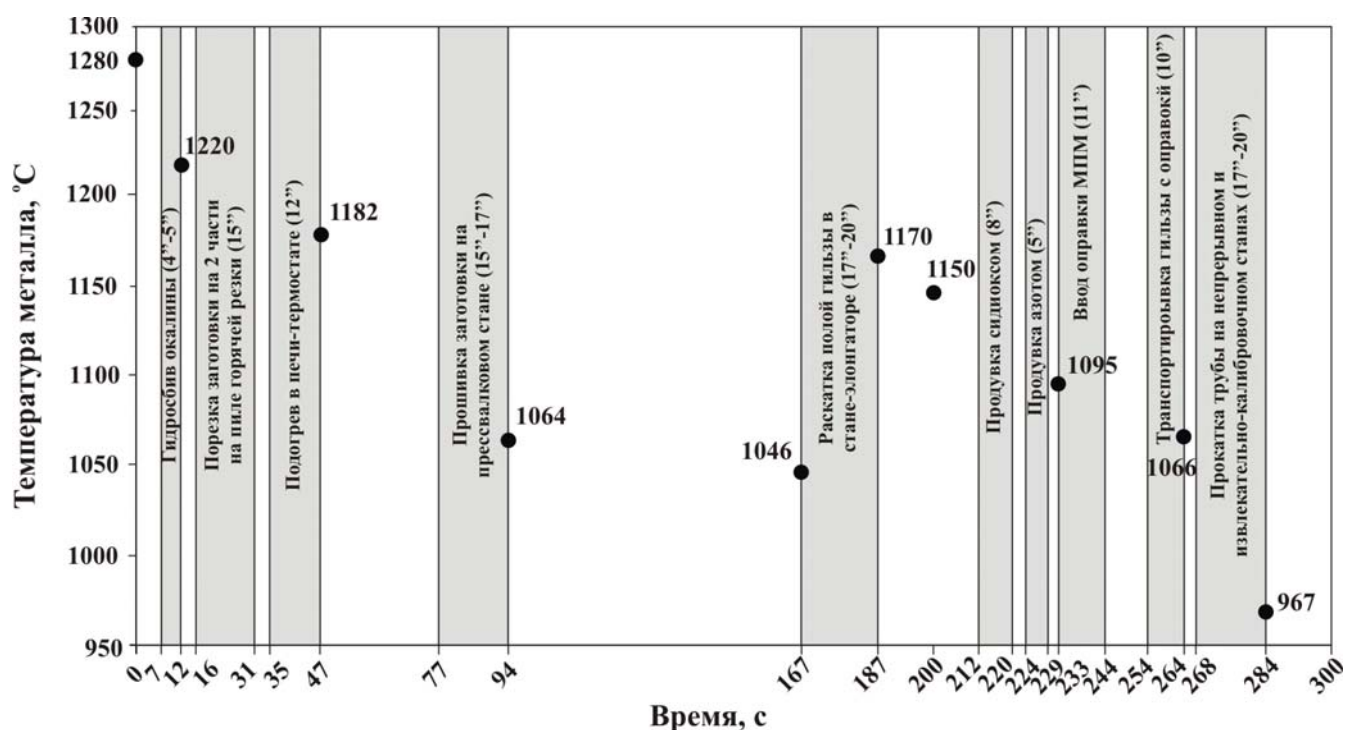


Рисунок 1 – Изменение температурного режима квадратной заготовки с момента её выдачи из печи до выхода трубы из извлекательно-калибровочного стана

Наибольшие потери температуры наблюдаются при прошивке, раскатке и межоперационных транспортировках. Так машинное время прошивки заготовок на пресс-валковом стане составило 15...17 с, время передачи гильзы с дном на стан-элонгатор – 73 с, машинное время раскатки гильзы на стане-элонгаторе – 17...20 с. С момента выдачи из печи-термостата до входа в стан-элонгатор происходит уменьшение температуры металла с 1182 °C до 1046 °C, что, в первую очередь, обусловлено подстыванием металла в ходе пресс-валковой прошивки.

Заготовки квадратного сечения размером 240×240 и 360×360 мм из сталей марок 20, 20Х, 09Г2С, 30ХМА прошивались в стаканы диаметром 284 и 436 мм на

пресс-валковом стане. Полученные гильзы с дном выбрасывались в отдельный карман, где остывали в течение суток. Затем с помощью ультразвукового толщиномера ДМ-2 с погрешностью 0,1 мм измеряли толщину стенки гильз.

Пресс-валковый прошивной стан продольной прокатки состоит из двух валков максимальным диаметром бочки 1450 мм и длиной 540 мм, установленных в вертикальной плоскости и образующих калибр диаметром 284...436 мм. Прошивка квадратных заготовок со стороной 240, 300 и 360 мм ведется на оправках диаметром 145, 180 и 226 мм, соответственно. Зазор между валками составляет 10 мм.

В результате обмеров была выявлена повышенная разностенность гильз с дном при пресс-валковой прошивке квадратных заготовок с большим размером стороны квадрата. Так установлено, что:

- для гильз, полученных из заготовок размером 240×240 мм, поперечная разностенность на переднем конце составляет 8...10 % и возрастает к заднему концу до 19...26 %;

- для гильз, полученных из заготовок размером 360×360 мм, поперечная разностенность на переднем конце составляет 3...10 % и возрастает к заднему концу до 28...37 %.

Была также отмечена нестабильность процесса прошивки заготовок на стане пресс-валковой прошивки, выражающаяся в нарушении условий захвата заготовок со стороной квадрата 360 мм.

На втором этапе исследований определялась принципиальная возможность прошивки НЛЗ диаметром более 300 мм на двухвалковом стане винтовой прокатки с валками бочковидной формы.

Стан-элонгатор оснащен бочковидными рабочими валками диаметром 1050-1200 мм длиной бочки 1150 мм с углами наклона образующих входного и выходного конусов – 3°45' и 4°15' пережимом 50 мм. Частота вращения рабочих валков составляла 57 мин⁻¹, угол подачи 7° и 8°. В качестве направляющего инструмента используются линейки, расположенные в горизонтальной плоскости.

Исходные круглые заготовки диаметром 330 мм из стали 20 двукратной длины 6 м нагревали в газопламенной печи с шагающими балками в течении 10 часов до температуры 1280 °С, температура поверхности заготовки после прохождения установки гидросбива окалины находилась в пределах 1196...1220 °С. Затем заготовку разрезали на две равные части. После порезки первая часть направлялась на стан-элонгатор, вторая часть передавалась в термостат. Через пресс-валковый стан заготовка проходила в «транспортном режиме».

Процесс прошивки заготовок в гильзы диаметром 320...328 мм толщиной стенки 29...37 мм осуществляли на оправках диаметром 247 мм со сферической рабочей частью.

В таблице 1 представлены настроечные параметры стана-элонгатора ТПА 159-426 при прошивке непрерывнолитых заготовок круглого сечения.

Таблица 1 – Настроечные параметры стана-элонгатора ТПА 159-426 при прошивке непрерывнолитых заготовок круглого сечения

№ заг.	Температура прокатки, °С	Расстояние в пережиме между		Угол подачи, °	Выдвижение оправки за пережим С, мм	Частота вращения, об/мин		Время прошивки, с
		линейками Л, мм	валками В, мм			захват	прокат	
1	–	348	291	7	230	40	60	44
2	–	348	291	7	230	50	70	40
3	–	350	291	8	245	50	70	39
4	1190	350	290	8	245	50	70	37
5	1216	350	290	8	245	60	80	32
6	1202	350	290	8	245	60	80	32

Проведенный эксперимент показал принципиальную возможность использования стана-элонгатора в качестве прошивного стана. Полученные значения энергосиловых параметров при прошивке не превысили значений при раскатке гильз с дном по действующей технологии.

Качество наружной поверхности полученных гильз удовлетворительное, при осмотре внутренней поверхности гильз, порезанных на кольца, дефектов не обнаружено. На заднем конце всех гильз имелись спиралевидные подрезы с шагом соответствующим шагу подачи, что вызвано неустойчивым положением оправки в очаге деформации в конце прошивки. Относительная поперечная разностенность по длине гильз, за исключением концевых участков, не превышала 10 %.

Для определения условий стабильного ведения процесса прошивки с увеличением диаметра гильзы на прошивном стане винтовой прокатки с валками бочковидной формы были проведены исследования в условиях лаборатории кафедры ТОТП НИТУ «МИСиС».

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований прошивки заготовок на опытно-промышленном стане МИСиС-130Д с «подъемом» по диаметру. Анализ формы очага деформации показал, что для реализации процесса прошивки на «подъем» в прошивных станах с бочковидными валками необходимо устанавливать оправку с малым выдвижением носка или его установкой в сечении пережима рабочих валков.

В процессе эксперимента фиксировали геометрические параметры получаемых гильз, шаги винтовой линии на наружной поверхности, машинное время прошивки, определяли скручивание заготовки в очаге деформации, визуально оценивали состояние наружной и внутренней поверхности гильз.

Двухвалковый прошивной стан МИСиС-130Д с направляющими линейками оснащен бочковидными рабочими валками диаметром 430 мм и длиной бочки 320 мм биконической калибровки с углами наклона образующих входного и

выходного конусов – 3° и пережимом шириной 10 мм, расположенным посередине бочки. Частота вращения рабочих валков составляла 57 мин^{-1} , угол подачи – 14° .

Оправка диаметром 40 мм с углом конусности раскатного участка 4° имела сферическую рабочую часть.

Исходные заготовки из стали 20 диаметром 60 мм длиной 300 мм зацентрировали с переднего конца сверлом диаметром 15 мм на глубину 15...20 мм. Для оценки скручивания металла в процессе прошивки, вдоль образующей заготовок наносили паз глубиной и шириной 3 мм. Нагрев заготовок осуществляли в камерной электрической печи до температуры 1160...1180 $^\circ\text{C}$ в течение 40 мин.

Прошивка при настройке очага деформации с обжатиями перед носком оправки $U_o = 5...9 \%$, в пережиме – $U_n = 10...12 \%$ протекала устойчиво, однако наблюдалось лишь незначительное увеличение наружного диаметра гильзы на 0,3...0,8 %. Относительная разностенность гильз составила менее 8...9 %.

Процесс прошивки с установкой носка оправки в пережиме валков ($U_o \approx U_n \approx 7...20 \%$) проходил неустойчиво и сопровождался закатом оправки в заднем конце гильзы. Однако диаметр гильзы увеличился на 1,2...9,5 %. Результаты замеров показали наличие незначительного увеличения внутреннего диаметра гильзы на 0,1...0,5 мм относительно диаметра оправки. Максимальная разностенность гильз не превышала 8...12 %.

Для обеспечения более значительного «подъема» по диаметру гильзы была разработана и изготовлена оправка диаметром 40 мм с увеличенным углом конусности раскатного участка до 7° (рисунок 2).

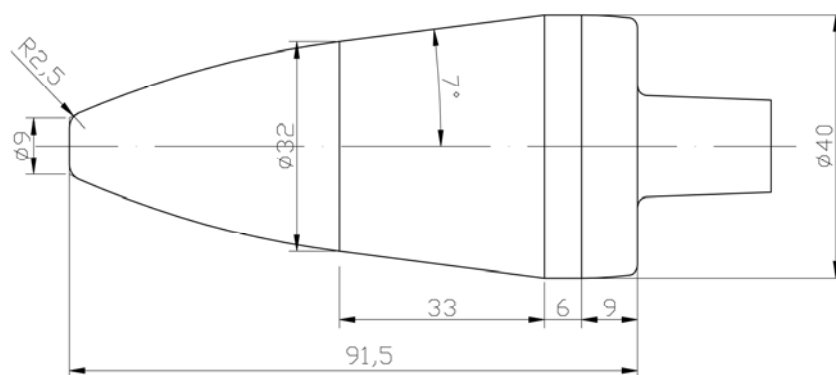


Рисунок 2 – Калибровка опытной оправки прошивного стана диаметром 40 мм с углом наклона образующей раскатного участка 7°

При прошивке второй партии заготовок изменяли расстояние между валками и линейками в пережиме, варьировали положение оправки в очаге деформации.

Результаты опытной прошивки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты опытной прошивки заготовок

№ настрой- ки	Выдви- жение оправки за пере- жим валков, мм	Обжа- тие перед носком оправ- ки U_0 , %	Обжа- тие в пережи- ме вал- ков U_n , %	Расстояние между		Диа- метр гиль- зы D_g , мм	Толщи- на стенки гильзы S_g , мм	Кoeffи- циент вытяжки μ
				валка- ми B , мм	ли- ней- ками L , мм			
I	35	6,0	10,0	54,0	62,0	64,22	10,4	1,58
	35	6,0	10,0	54,0	62,0	64,34	10,3	1,57
	35	6,0	10,0	54,0	62,0	64,27	10,3	1,58
II	0	10,0	10,0	54,0	62,0	67,69	12,0	1,38
	0	10,0	10,0	54,0	62,0	67,57	12,1	1,32
	0	10,0	10,0	54,0	62,0	67,35	12,0	1,32
III	0	6,0	6,0	56,0	62,4	68,99	13,1	1,21
	0	6,0	6,0	56,0	62,4	68,95	13,1	1,21
	0	6,0	6,0	56,0	62,4	69,50	13,1	1,21

Прошивка с традиционной настройкой очага деформации ($U_0 = 6 \%$, $U_n = 10 \%$) протекала устойчиво, однако увеличение диаметра гильзы составило лишь 7...7,3 %. Максимальная поперечная разностенность гильз не превышала 8 %.

Прошивка заготовок при настройке очага деформации с установкой носка оправки в пережиме валков также проходила устойчиво, а диаметр гильз увеличился на 7,4...16,5 %. Увеличение внутреннего диаметра гильз относительно диаметра оправки составило 1...3 мм, что благоприятно сказалось на «подъеме». Максимальная разностенность сопоставима с результатами прошивки при традиционной настройке и составила 8...9 %.

Установлено, что увеличение обжатия перед носком оправки от 6 до 20 % существенно влияет на коэффициент осевой скорости прошивки, который возрастает от 0,50...0,58 до 0,88. То есть при малых значениях обжатия перед носком оправки (6 %) процесс прошивки протекает со значительным скольжением металла относительно валков. При данной калибровке рабочих валков, оправок и направляющих линеек уменьшение обжатия перед носком оправки способствует повышению толщины стенки гильзы, а также сопровождается некоторым ростом разностенности получаемых гильз, что обусловлено менее устойчивым положением оправки в очаге деформации. Уменьшение обжатия перед носком оправки способствует снижению результирующего скручивания гильзы.

Для более подробного исследования прошивки с малым обжатием перед носком оправки и переносом деформации в выходной конус валков были проведены дополнительные экспериментальные исследования процесса прошивки

заготовок на «подъем» при использовании оправок различной калибровки. Прошивку заготовок осуществляли на оправках диаметрами 48, 51, 53, 56 и 58 мм со сферической рабочей частью с углом наклона образующей раскатного конуса 7° . Оправки выполнены с различным отношением длины к диаметру: для оправки диаметром 48 мм $L_n/\delta_n = 2,75$; для оправки диаметром 51 мм $L_n/\delta_n = 2,71$; для оправки диаметром 53 мм $L_n/\delta_n = 2,26$; для оправки диаметром 56 мм $L_n/\delta_n = 2,11$; для оправки диаметром 58 мм $L_n/\delta_n = 2,03$.

Процесс прошивки с применением настроек, при которых носок оправки установлен в пережиме валков, позволил увеличить наружный диаметр гильз на 16...22 % в зависимости от диаметра применяемых оправок. Увеличение внутреннего диаметра гильзы относительно диаметра оправки составило 1,5...2,8 мм, что благоприятно сказалось на «подъеме» гильзы. Максимальная относительная разностенность гильз составила менее 8...9 %.

Анализ полученных данных позволил разработать рекомендации по калибровке технологического инструмента для осуществления прошивки заготовок в гильзы с «подъемом» по диаметру в двухвалковых станах винтовой прокатки с бочковидными валками.

Применение оправок повышенной длины с отношением $L_n/\delta_n > 2,5$ приводит к закату оправки в заднем конце гильзы в виду недостатка тянущих сил в конце процесса прошивки.

Для обеспечения стабильного «подъема» наружного диаметра прошиваемой гильзы угол наклона образующей выходного конуса валков рекомендуется выбирать равным $\varphi_2 = 4...6^\circ$.

При проектировании оправок угол наклона образующей раскатного конуса оправки рекомендуется принимать $\varphi_o = \varphi_2 + (1,5...2)^\circ$. Данное соотношение обеспечивает постоянный или слабо суживающийся зазор между образующими выходного конуса рабочего валка и раскатного конуса оправки, что благоприятно сказывается на раскатке металла заготовки и обеспечивает стабильный «подъем» гильзы по диаметру.

Проведенные экспериментальные исследования позволили усовершенствовать технологию прошивки в двухвалковых станах винтовой прокатки с валками бочковидной формы и направляющими линейками за счет ведения процесса с малым обжатием перед носком оправки и переносом деформации в выходной конус валков. В результате были разработаны рекомендации по калибровке технологического инструмента (рабочих валков и оправок) для прошивки заготовок с «подъемом» по диаметру и установкой носка оправки в пережиме, обеспечивающие получение гильз с требуемыми геометрическими параметрами и высоким качеством наружной и внутренней поверхности. Результаты работы внедрены в технологический процесс производства труб на ТПА 159-426 ОАО «ВТЗ» при организации процесса прошивки НЛЗ круглого сечения на

действующем стане-элонгаторе без изменения конструкции существующей станины рабочей клетки.

В четвертой главе была проанализирована калибровка валков и режимы обжатий непрерывных станов различной конструкции, действующих на территории России и некоторых странах СНГ (Казахстан, Беларусь), при прокатке труб с максимальным значением D/S :

– непрерывные станы с двухвалковыми клетями ТПА 80 ОАО «СинТЗ», ТПА 30-102 ОАО «ПНТЗ», ТПА 159-426 ОАО «ВТЗ», RMM 10 3/4" ТОО «KSP-Steel»;

– непрерывные станы с трехвалковыми клетями PQF 6 5/8" РУП «БМЗ», PQF 10 3/4" ОАО «ТАГМЕТ», FQM 7" компании Danieli.

На рисунках 3, 4 представлены графики распределения относительных обжатий по стенке трубы по клетям непрерывных станов с двух- и трехвалковыми клетями.

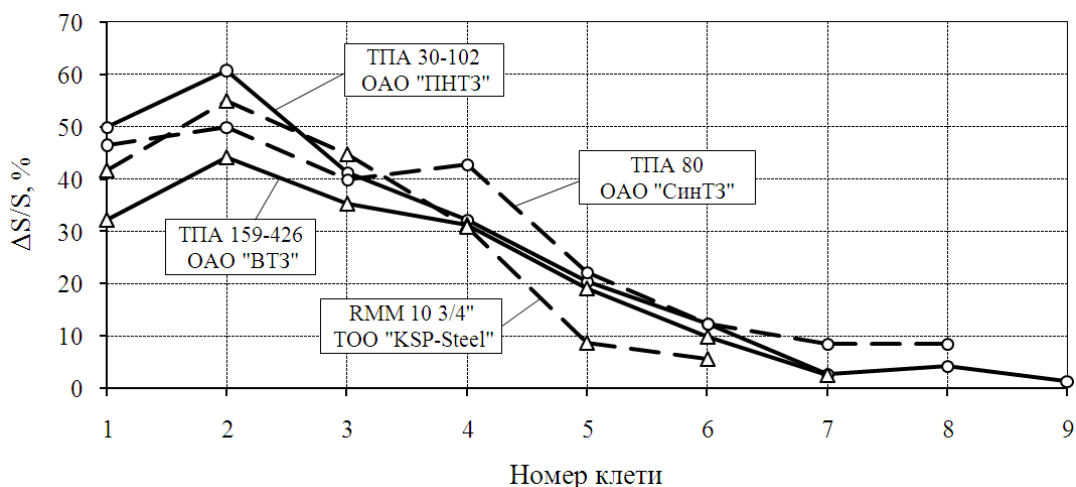


Рисунок 3 – Распределение относительных обжатий по стенке трубы по клетям непрерывных станов с двухвалковыми клетями

Анализ распределения относительных обжатий $\Delta S/S$ по стенке трубы по клетям непрерывных станов с двухвалковыми клетями показывает, что для всех рассмотренных станов характерен ниспадающий режим с максимальными обжатиями в первых двух клетях. Величины обжатий по стенке трубы в непрерывных станах с двухвалковыми клетями составили: в первой клетке – от 32 до 50 %; во второй клетке – от 44 до 61 %; в последних клетях – от 2 до 9 %.

Деформация стенки трубы в непрерывных станах с трехвалковыми клетями происходит аналогичным образом, как и для станов с двухвалковыми клетями. Основная деформация по стенке трубы осуществляется в первых двух клетях: обжатие в первой клетке составляет от 46 до 49 %, во второй клетке – от 58 до 63 %. В последующих трех клетях формируется готовая стенка, при этом величина

относительного обжатия стенки в последней клетке весьма мала: обжатие в последних клетях составляет от 2 до 7 %.

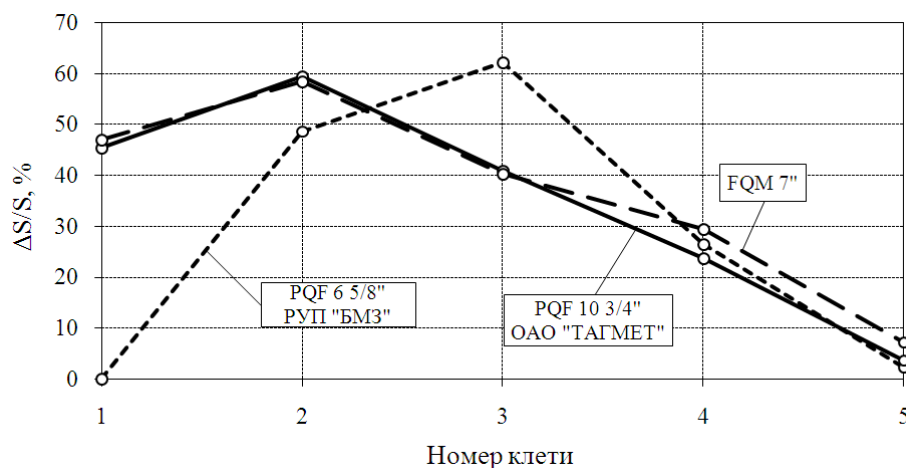


Рисунок 4 – Распределение относительных обжатий по стенке трубы по клетям непрерывных станов с трехвалковыми клетями

Таким образом, величины обжатий по стенке трубы в непрерывных станах с двух- и трехвалковыми клетями приблизительно одинаковы. Однако в непрерывных станах с трехвалковыми клетями обжатие ограничено конструктивно и изменения характера течения металла и режимов деформирования стенки трубы возможно добиться лишь изменением калибровки валков. Следует отметить, что в непрерывных станах с двухвалковыми клетями, где количество клеток составляет от 6 до 9, имеются более широкие возможности обжатия и выравнивания стенки до необходимой толщины.

С другой стороны, наличие меньшего количества рабочих клеток по сравнению с непрерывными станами с двухвалковыми клетями — одно из основных преимуществ, которое заявляют поставщики оборудования новых агрегатов с непрерывными станами. Максимальное количество клеток непрерывных оправочных станов с трехвалковыми клетями — пять. Так, на непрерывном стане POF 6 5/8" РУП «БМЗ» раскатка труб ведется в пятиклетьевом непрерывном стане, где первая клеть стана (клеть VRS) является предварительной обжимной и предназначена для выравнивания по диаметру задаваемой в стан гильзы. Основная деформация гильзы-трубы происходит в оставшихся четырех клетях стана, которые согласно действующей схеме прокатки должны уменьшить толщину стенки более чем на 60 %. Такая величина обжатия является критичной особенно при прокатке тонкостенных труб. В связи с этим разработчики технологии и оборудования ТПА с трехвалковым непрерывным станом заранее уменьшают величину деформации (вытяжки) на непрерывном стане за счет её увеличения на прошивном стане, что менее благоприятно по сравнению с

распределением деформации на непрерывных станах с двухвалковыми клетями, где максимальная деформация осуществляется в непрерывном стане.

В непрерывных станах с двухвалковыми клетями последние клетки служат для выравнивания стенки по периметру, скругления и выравнивания трубы по диаметру. Практика производства тонкостенных труб с отношением $D/S \geq 20$ на непрерывных станах с трехвалковыми клетями позволяет говорить о том, что окончательного выравнивания стенки трубы в стане не происходит, о чем свидетельствуют утолщенные участки, отмеченные на внутренней поверхности черновых труб в местах, соответствующих областям выпусков калибров.

Однако за непрерывным станом с трехвалковыми клетями установлен извлекательно-калибровочный стан, который и выполняет аналогичные для последних клеток непрерывных двухвалковых станом операции.

Таким образом, анализ полученных графиков, а также заводские испытания позволяют сделать выводы о том, что при прокатке труб диаметром более 219 мм целесообразно использование шести клеток в линии непрерывного стана с трехвалковыми клетями. Благодаря этому удалось бы достичь лучшей обработки стенки, скругления и выравнивания трубы по диаметру.

В результате анализа литературных источников и технологических параметров работы различных ТПА с непрерывным станом, а также на основании экспериментальных исследований процесса раскатки гильз в трубы широкого сортамента на трубопрокатном агрегате PQF 10 3/4" ОАО «ТАГМЕТ» была разработана методика расчета калибровки валков непрерывного стана с трехвалковыми клетями. Данная методика позволяет назначать распределение обжатий по клетям стана, исключающих переполнение металлом калибров в наиболее нагруженных клетях стана, и на основании принятых обжатий рассчитывать геометрические размеры калибров валков.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать следующее распределение относительных обжатий стенки трубы в вершине калибра по клетям непрерывного стана с трехвалковыми клетями: I клеть – $\Delta S_k / S_k = 40 \dots 50 \%$; II клеть – $\Delta S_k / S_k = 50 \dots 60 \%$; III-IV клеть – $\Delta S_k / S_k = 20 \dots 40 \%$, V клеть (V-VI клетки для шестиклетевых непрерывных станом) – $\Delta S_k / S_k = 0 \dots 10 \%$. При этом необходимо соблюдать равенство:

$$\Delta S_k^I + \Delta S_k^{III} + \Delta S_k^V = \Delta S_k^{II} + \Delta S_k^{IV} (+ \Delta S_k^{VI}) \quad (1)$$

При проектировании непрерывных станом с трехвалковыми клетями рекомендуется в первых обжимных клетях стана (I-III клетки для пяти- и I-IV клетки для шестиклетевых непрерывных станом) применять овальные калибры со скругленными выпусками (рисунок 5, а), в последующих чистовых клетях (IV-V клетки для пяти- и V-VI клетки для шестиклетевых непрерывных станом) – калибры круглой формы со скругленными выпусками (рисунок 5, б).

Определив толщины стенок трубы по клетям стана, рассчитываем высоту

калибров всех клеток, кроме последних двух, по формуле:

$$2 \cdot H_k = \delta_{оп} + 2 \cdot S_k, \quad (2)$$

где H_k – половина высоты калибра, мм;

$\delta_{оп}$ – диаметр оправки непрерывного стана, мм;

S_k – толщина стенки в вершине калибра, мм.

Для последней клетки высоту калибра определяют с учетом зазора между трубой и оправкой:

$$2 \cdot H_k = \delta_{оп} + 2 \cdot S_k + \Delta, \quad (3)$$

где Δ – зазор между трубой и оправкой непрерывного стана при прокатке в последней клетки ($\Delta = 1 \dots 2$ мм, причем для труб малого диаметра рекомендуется принимать меньшие значения Δ).

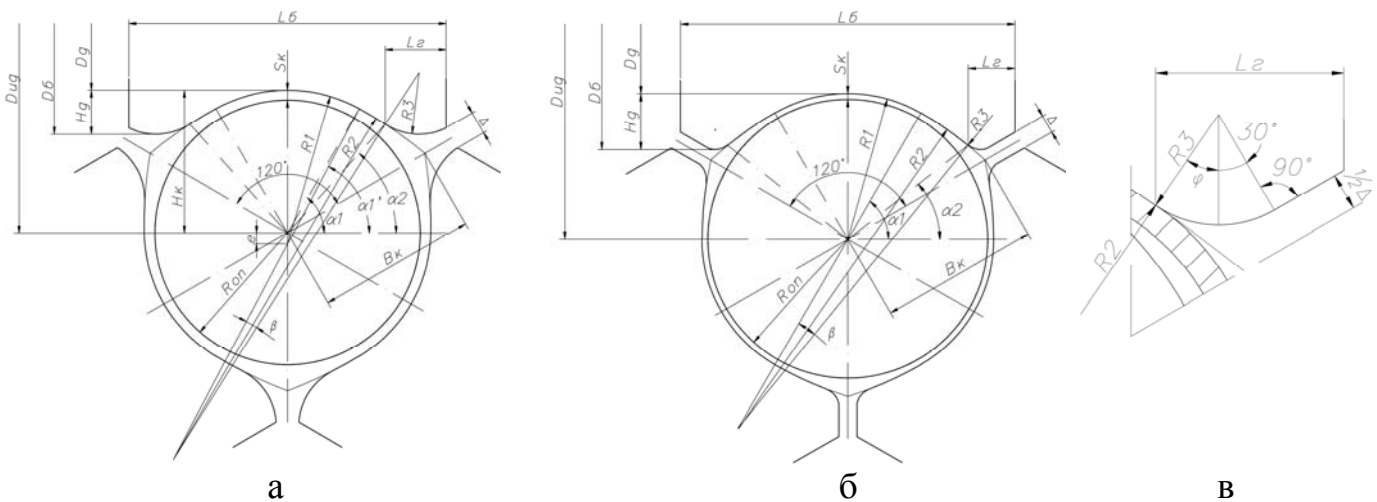


Рисунок 5 – Схема построения калибров непрерывного стана с трехвалковыми клетями: а – овальный со скругленными выпусками; б – круглый со скругленными выпусками; в – участок области галтелей.

Расчет геометрических размеров валков целесообразно начинать с определения радиуса обжимной части калибра:

– для овальных калибров со скругленными выпусками (обжимная группа клеток)

$$R1 = H_k + e, \quad (4)$$

– для круглых калибров со скругленными выпусками (чистовая группа клеток)

$$R1 = H_k, \quad (5)$$

где $R1$ – радиус обжимной части калибра валка, мм;

H_k – половина высоты калибра, мм;

e – эксцентриситет калибра (в овальных калибрах непрерывного стана принимаем по аналогии с двухвалковыми клетями $e = 0,5...5$ мм, причем значение e убывает от первой к последней клетки).

Радиус выпусков определяется по формуле:

$$R2 = \frac{A^2 + \frac{3}{4} \cdot B\kappa^2 + R1 \cdot C}{R1 + C}, \quad (6)$$

$$A = \frac{1}{2} \cdot B\kappa + e, \quad (7)$$

$$C = R1 - (\sqrt{3} \cdot B\kappa \cdot \cos \alpha 1' + 2 \cdot A \cdot \sin \alpha 1'), \quad (8)$$

$$\alpha 1' = \alpha 1 + \arcsin\left(\frac{e}{R1} \cdot \cos \alpha 1\right), \quad (9)$$

$$B\kappa = H\kappa \cdot \theta, \quad (10)$$

где $R2$ – радиус выпуска калибра, мм;

A, C – коэффициенты в формуле для определения радиуса выпуска овального калибра, мм;

$B\kappa$ – половина ширины калибра, мм;

θ – коэффициент овальности калибра (для обжимных клетей стана $\theta = 1,10...1,12$, для чистовых клетей $\theta = 1,08...1,10$);

$\alpha 1$ – центральный угол выпуска, град;

$\alpha 1'$ – истинный угол выпуска, град.

Радиус участка галтели рекомендуется определять по формуле:

$$R3 = \frac{(R2 - R1) \cdot (\cos(\alpha 1') - \sqrt{3} \cdot \sin(\alpha 1')) - R2 \cdot (\cos(\alpha 1' - \beta) - \sqrt{3} \cdot \sin(\alpha 1' - \beta)) - \Delta - \sqrt{3} \cdot e}{2 + \cos(\alpha 1' - \beta) - \sqrt{3} \cdot \sin(\alpha 1' - \beta)}, \quad (11)$$

где $R3$ – радиус участка галтели, мм;

β – соединительный угол, град;

Δ – зазор между валками, мм.

Соединительный угол равен:

$$\beta = \arcsin\left[\frac{R1 \cdot \sin \alpha 1' - e}{R2 \cdot \sin \alpha 1} \cdot \sin(\alpha 1 - \alpha 2) - \sin(\alpha 1' - \alpha 2)\right] + \alpha 1' - \alpha 2, \quad (12)$$

где $\alpha 2$ – угол галтели, град.

При выборе угла галтели α_2 можно рекомендовать следующие значения:

– при наличии пяти клетей в стане: I клеть – $16...18^\circ$; II-III клеть – $12...13^\circ$; IV-V клеть – 8° ;

– при наличии шести клетей: I-II клеть – $16...18^\circ$; III-IV клеть – $12...13^\circ$; V-VI клеть – 8° .

Диаметр валков непрерывного стана должен удовлетворять условиям захвата и прочности. На основании практических данных идеальный диаметр валков непрерывного стана с трехвалковыми клетями рекомендуется определять эмпирической зависимостью:

– для калибра диаметром менее либо равным 190 мм

$$D_{ид} = (4,0...6,0) \cdot D_{н.с}, \quad (13)$$

– для калибра диаметром более 190 мм

$$D_{ид} = (3,0...4,0) \cdot D_{н.с}, \quad (14)$$

где $D_{ид}$ – идеальный диаметр валка непрерывного стана, мм;

$D_{н.с}$ – диаметр черновой трубы, прокатываемой в данном калибре непрерывного стана, мм.

Для унификации парка прокатного инструмента диаметры валков рекомендуется выбирать равными в пределах одной группы клетей. При этом меньшие значения величин идеального диаметра необходимо принимать для валков чистовой группы.

Существенное влияние на процесс прокатки (характер деформации металла в калибрах) и качество труб, получаемых в непрерывном оправочном стане, оказывает скоростной режим прокатки. Определены основные рекомендации по расчету скоростного режима прокатки в непрерывном стане с трехвалковыми клетями.

Процесс прокатки целесообразно вести при скоростном режиме, близком к режиму свободной прокатки, то есть к условиям, при которых скорости валков каждой клетки соответствуют условиям сохранения постоянства секундных объемов металла, проходящих через каждую клетку:

$$F_i \cdot v_i = F_{i+1} \cdot v_{i+1} = const, \quad (15)$$

где F_i, F_{i+1} – площадь сечения трубы на выходе из валков i -той и $(i+1)$ -ой клетей, мм^2 ;

v_i, v_{i+1} – скорость выхода трубы из i -той и $(i+1)$ -ой клетей, мм/с .

На основании условия постоянства секундных объемов металла по клетям можно также записать:

$$W_{i+1} = W_i \cdot \left(1 + \frac{c_{i+1}}{100}\right), \quad (16)$$

где W_i , W_{i+1} – секундный объем металла в данной и последующей клетки, мм³/с;

c_{i+1} – натяжение в последующей клетки (при $c > 0$ возникает натяжение между клетями, а при $c < 0$ – подпор), %.

При выборе скоростного режима следует постепенно от первой клетки к последней снижать величину натяжения, переходя на подпор.

Для непрерывных станов с трехвалковыми клетями можно рекомендовать расчетные величины межклетевого натяжения:

- для первых двух клеток стана (I-II клеть) чтобы обеспечить устойчивый процесс без значительного оковывания оправки – в пределах 1,0...1,5 %;

- для средних клеток (III-IV клеть) – 0,5...1,0 %;

- для последних клеток (V клеть в пятиклетевом и V-VI клетки в шестиклетевом непрерывном стане) для создания зазора между трубой и оправкой и облегчения извлечения оправки – подпор в пределах не более 1 %.

Для определения площади поперечного сечения трубы в i -той клетки стана использована объективно-ориентированная система автоматизированного проектирования AutoCAD и система твердотельного моделирования SolidWorks, которые позволяют строить точные пространственные геометрические модели валков по клетям непрерывного стана.

В результате проведенной работы разработаны рекомендации по совершенствованию действующей калибровки валков непрерывного стана с трехвалковыми клетями, позволяющие уменьшить износ валков непрерывного стана и повысить качество наружной поверхности прокатываемых труб. Согласно представленной методике разработана калибровка валков непрерывного стана RQF 10 3/4" (калибр 270 мм), позволяющая усовершенствовать технологию раскатки гильз в черновую трубу для производства тонкостенных труб диаметром от 219 мм.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В результате исследований технологии прошивки непрерывнолитых заготовок в условиях ОАО «Волжский трубный завод» доказана необходимость замены пресс-валкового прошивного стана на двухвалковый стан винтовой прокатки, которая позволит улучшить качество гильз и труб, производимых на ТПА с непрерывным станом. Экспериментально установлена возможность прошивки на двухвалковых станах винтовой прокатки с бочковидными валками и направляющими линейками НЛЗ круглого сечения диаметром более 300 мм в гильзы с удовлетворительным качеством наружной и внутренней поверхности, разностенностью по длине гильз, за исключением концевых участков, не превышающей 10 %.

2. Усовершенствована технология прошивки в двухвалковых станах винтовой прокатки с бочковидными валками и направляющими линейками, позволяющая вести процесс с увеличением диаметра гильзы относительно исходной заготовки не менее 20 % за счет разработки калибровки рабочего инструмента и выбора рациональных технологических режимов, обеспечивающих малое обжатие перед носком оправки и перенос деформации в выходной конус валков.

3. Разработаны рекомендации по калибровке технологического инструмента (рабочих валков и оправок) для прошивки заготовок с «подъемом» по диаметру и установкой носка оправки в пережиме, обеспечивающие получение гильз с требуемыми геометрическими параметрами и высоким качеством наружной и внутренней поверхности на стане-элонгаторе ТПА 159-426 ОАО «ВТЗ» без изменения конструкции станины рабочей клетки.

4. Систематизирован опыт работы непрерывных станов с двух- и трехвалковыми клетями. На основании анализа деформационно-скоростных параметров процесса непрерывной раскатки гильз в трубы широкого сортамента на различных ТПА определены рациональные режимы деформации на непрерывном оправочном стане с трехвалковыми клетями. Разработана схема распределения обжатий, которая позволяет исключить переполнение металлом калибров в наиболее нагруженных клетях и уменьшить износ рабочих валков.

5. Разработана методика расчета калибровки валков непрерывного оправочного стана с трехвалковыми клетями, основанная на определении формы и геометрических размеров калибров. Данная методика позволяет назначать рациональное распределение обжатий по клетям, усовершенствовать технологический процесс непрерывной раскатки гильз, уменьшить износ валков непрерывного стана и повысить качество наружной поверхности прокатываемых труб.

6. Разработана методика расчета скоростных параметров процесса раскатки гильз в черновые трубы на контролируемо-перемещаемой оправке в непрерывных станах с трехвалковыми клетями, основанная на построении в CAD/CAM-системах AutoCAD и SolidWorks калибров валков и определении площадей сечений трубы по клетям непрерывного стан. Определены расчетные величины межклетевого натяжения по клетям непрерывного стана с трехвалковыми клетями.

7. Результаты исследований внедрены в технологический процесс производства труб на агрегатах с непрерывными станами ТПА 159-426 ОАО «Волжский трубный завод» и PQF 10 3/4" ОАО «Таганрогский металлургический завод».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ

1. Лубе И.И. Исследование и совершенствование технологии горячей прокатки на агрегатах с непрерывным станом труб диаметром 273-425 мм из непрерывнолитых заготовок. // Сб. науч. тр. «Прогрессивные технологии пластической деформации». – М.: МИСиС, 2009, С. 516.

2. Лубе И.И., Алещенко А.С. Исследование процесса прошивки заготовок в двухвалковом стане винтовой прокатки в гильзы с «подъемом» по диаметру. // Сб. науч. тр. «Прогрессивные технологии пластической деформации». – М.: МИСиС, 2009, С. 479-483.

3. Исследование процесса прошивки в двухвалковом стане винтовой прокатки. / И.И. Лубе, А.С. Алещенко, К.В. Слободченко. Сборник научных трудов «64-е Дни науки студентов МИСиС: международные, межвузовские и институтские научно-технические конференции». – М.: МИСиС, 2008, С. 345.

4. Совершенствование методики расчета деформационно-скоростных параметров при раскатке труб на непрерывном стане. / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Е.А. Давыдова, И.И. Лубе и др. – Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2009, № 3, С. 18-21.

5. Исследование процесса прошивки на двухвалковом стане винтовой прокатки. / А.С. Алещенко, И.И. Лубе, Д.В. Богатырев и др. – Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2008, № 7, С. 20-23.

6. Исследование процесса прошивки на двухвалковом стане винтовой прокатки. / А.С. Алещенко, И.И. Лубе, Д.В. Богатырев и др. Сборник научных трудов «63-е Дни науки студентов МИСиС: международные, межвузовские и институтские научно-технические конференции». – М.: МИСиС, 2008, С. 237.

7. Совершенствование математической модели расчета энерго-силовых параметров ТПА 159-426. / Ю.Н. Уткин, М.В. Буняшин, И.И. Лубе и др. – Сталь, 2007, № 4, С. 57-60.

8. Лубе И.И., Зуев Е.А. Исследование процесса прошивки на прессвалковом стане ТПА 159-426. // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2006, № 9, С. 24-26.

9. Модернизация лабораторного стана-макета. / Р.Р. Бикмаметов, Е.А. Зуев, И.И. Лубе и др. – Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2005, № 1, С. 84-85.