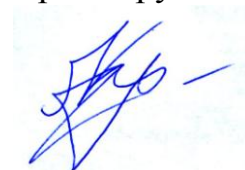


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи



Корсаков Андрей Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ
НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ
ДИАМЕТРА ЧЕРНОВОЙ ТРУБЫ**

Специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор В.Г. Шеркунов

Челябинск 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор научно-технической литературы по вопросам прокатки с уменьшением диаметра гильзы (черновой трубы) на станах винтовой прокатки.....	8
1.1 Технические и технологические предпосылки совершенствования винтовой прошивки.....	10
1.2 Пути и способы решения проблемы получения гильз с уменьшением диаметра.....	15
1.3 Перераспределение деформации между станами винтовой прокатки	31
1.4 Постановка целей и задач исследования.....	36
2 Теоретические исследования процессов винтовой прокатки с уменьшением диаметра	38
2.1 Анализ особенностей процесса прокатки в условиях ТПА-140 ОАО «СинТЗ»	38
2.2 Расчет усилий при прошивке заготовок на прошивном стане с грибовидными валками.....	47
2.3 Анализ особенностей прошивки непрерывнолитой заготовки	57
2.4 Создание новой схемы деформирования на прошивном стане.....	62
2.5 Разработка технических решений, направленных на совершенствование процесса прошивки.....	67
2.6 Математическая модель и алгоритм расчета настроечных параметров при прошивке	71
2.6.1 Разработка нового программного обеспечения для расчета настроечных параметров прошивного стана	75
2.7 Новая схема деформирования черновой трубы на трехвалковом обкатном стане винтовой прокатки	78
2.7.1 Компьютерное моделирование процесса обкатки с уменьшением диаметра.....	81
2.7.2 Разработка калибровок прокатного инструмента обкатного стана.....	84
2.8 Выводы по главе	87

3 Экспериментальные исследования основных технологических параметров	88
3.1 Определение температурного интервала максимальной технологической пластичности металла методом горячего кручения.....	88
3.1.1 Методика проведения испытаний на горячее кручение	90
3.1.2 Результаты экспериментов	92
3.1.3 Выводы по результатам испытаний на горячее кручение.....	97
4 Испытания разработанных технических решений в промышленных условиях .	99
4.1 Испытания в условиях ТПЦ-3 ОАО «ВТЗ»	99
4.2 Испытания в условиях Т-2 ОАО «СинТЗ».....	100
4.2.1 Исследование прошивки с уменьшением диаметра гильзы.....	100
4.2.2 Исследование обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы...	122
4.2.3 Качество труб	131
4.3 Выводы по главе	141
Выводы по работе.....	144
Библиографический список.....	146
Приложение А	157
Приложение Б	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Высокие темпы роста общего выпуска бесшовных труб с учетом ужесточающихся требований к их качеству, определяют поиск наиболее перспективных путей совершенствования процессов трубопрокатного производства.

Успешному решению этих вопросов способствует крупномасштабная реконструкция многих трубопрокатных агрегатов (ТПА) с установкой в технологические линии мощного высокопроизводительного оборудования, а также массовое освоение производства труб из непрерывнолитой заготовки (НЛЗ).

Реконструкция ТПА сопровождается интенсификацией производства, то есть существенным повышением производительности, снижением технологических отходов и повышением качества труб.

Использование непрерывнолитой круглой заготовки для производства бесшовных труб позволило, наряду с повышением качества металла, исключить частично или полностью из технологического процесса более затратную и подчас менее качественную катаную заготовку, уменьшить концевые отходы и существенно снизить себестоимость труб.

Однако, широкомасштабное использование НЛЗ для производства бесшовных труб ограничено предельными размерами кристаллизаторов по условиям формирования в них заготовки круглого сечения: максимальный диаметр НЛЗ составляет 410 мм, минимальный – 156 мм.

Высокая стоимость кристаллизаторов и сложность производства НЛЗ делают невозможным изготовление непрерывнолитых заготовок широкого сортамента по диаметрам, например, с шагом 5-10 мм, достигнутым и обеспечиваемым при производстве катаных заготовок.

Возникшие трудности ставят перед металлургами и трубопрокатчиками новые научные, технические, технологические и организационные проблемы, требующие решения.

В сфере трубопрокатного производства проблемы использования НЛЗ касаются, прежде всего, технологии изготовления труб на самых многочисленных трубопрокатных агрегатах «140», с автоматическими раскатными станами, потребляющих катаную заготовку диаметром менее 156 мм (от 90 мм до 150 мм), прошедшую вторичный деформационный передел, и поэтому более дорогостоящую.

Большинство трубопрокатных предприятий и компаний не имеют собственных технологий для вторичного передела непрерывнолитых заготовок, поэтому вынуждены предпринимать определенные шаги в направлении «унификации» трубной заготовки.

В связи с этим разработка эффективной технологии производства труб малого диаметра (121 мм и менее) на ТПА-140 из НЛЗ повышенного диаметра (156 мм) является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы: на основании анализа имеющихся работ, математического и физического моделирования усовершенствовать технологию винтовой прокатки непрерывнолитой заготовки диаметром 156 мм с целью получения труб диаметром менее 121 мм.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ особенностей деформирования непрерывнолитых трубных заготовок.
2. Исследовать напряженно-деформированное состояние в осевой зоне НЛЗ при прошивке с повышенными обжатиями.
3. Определить рациональный температурный режим, обеспечивающий максимальную пластичность заготовки в процессе деформации.
4. Разработать математическую модель и алгоритм расчета настроечных параметров прошивного стана.
5. Предложить эффективные патентозащищенные технические решения, направленные на совершенствование технологического процесса.

6. Выполнить проверку полученных результатов в лабораторных и промышленных условиях.

Структура диссертации представлена на рисунке 1.

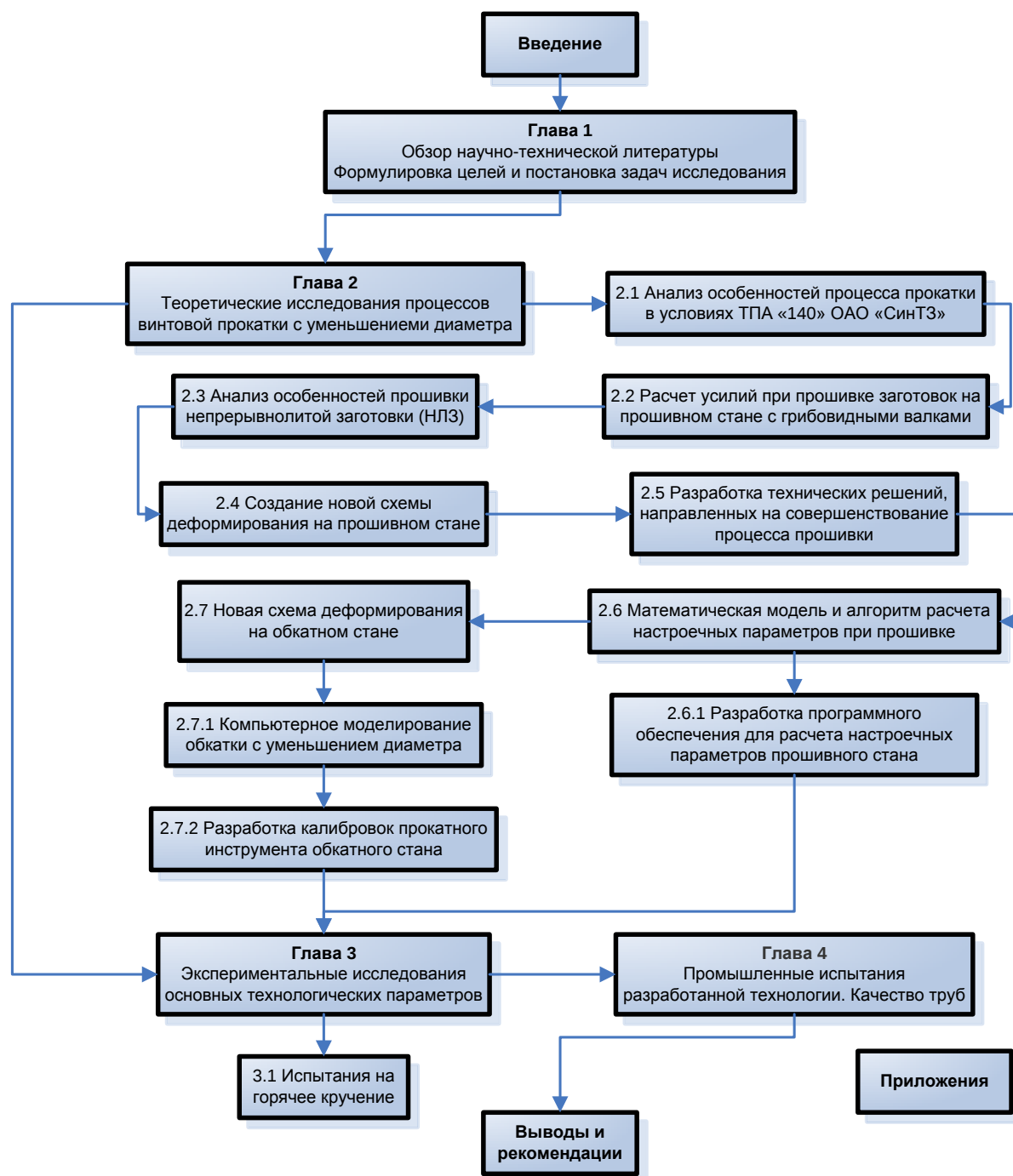


Рисунок 1 – Структура диссертационной работы в виде блок-схемы

Работа состоит из следующих частей:

- введения;

– основной части, состоящей из четырех глав:

1. Обзор литературных источников по теме диссертации, постановку целей и задач исследования;

2. Теоретические исследования процесса винтовой прошивки НЛЗ с уменьшением диаметра гильзы и процесса обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы. Разработка новых технических решений, позволяющих производить трубы диаметром от 73 до 121 мм из НЛЗ диаметром 156 мм путем перераспределения деформации между станами горячего передела ТПА-140. Разработка новой математической модели и алгоритма расчета настроечных параметров прошивного стана учитывающей искажение очага деформации от разворота валков на угол подачи;

3. Экспериментальные исследования по определению основных технологических параметров процесса прошивки – определение температурного интервала максимальной технологической пластичности НЛЗ из стали 20 методом горячего кручения;

4. Опытно-промышленные исследования по разработанным техническим решениям;

– выводов по работе;

– приложений.

1 ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСАМ ПРОКАТКИ С УМЕНЬШЕНИЕМ ДИАМЕТРА ГИЛЬЗЫ (ЧЕРНОВОЙ ТРУБЫ) НА СТАНАХ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

Вопросами прокатки заготовок с уменьшением диаметра черновой трубы занимались такие отечественные ученые как П.Т. Емельяненко, А.П. Чекмарев, Ю.М. Матвеев, В.Н. Выдрин, Я.С. Финкельштейн, П.К. Тетерин, Я.Л. Ваткин, Р.М. Голубчик, Б.А. Романцев, А.В. Курятников, А.А. Богатов, Е.И. Шифрин, Д.В. Овчинников, И.И. Лубе, А.Л. Марченко и др.

Одним из наиболее эффективных путей решения проблемы использования НЛЗ повышенного диаметра (156 мм и выше) на малых ТПА является осуществление операции предварительного обжатия заготовки по диаметру на 5-30% в многовалковом (3-х валковом) обжимном стане винтовой прокатки [12-14], размещенном в технологической линии ТПА перед прошивным станом с использованием одного нагрева заготовки.

В 80-90 годы XX столетия Уральским научно-исследовательским трубным институтом («УралНИТИ») совместно с Московским институтом стали и сплавов («МИСиС») и Электростальским заводом тяжелого машиностроения («ЭЗТМ») были разработаны технические проекты реконструкции ТПА-140 Челябинского трубопрокатного завода (ОАО «ЧТПЗ»), ТПА 50-200 Волжского трубного завода (ОАО «ВТЗ») и ТПА-220 Первоуральского новотрубного завода (ОАО «ПНТЗ») с установкой в технологические линии оборудования 3-х валкового обжимного стана [4]. Однако, реализация предложенной технологии была осуществлена лишь в 2008 году на ТПА-80 Синарского трубного завода (ОАО «СинТЗ») [5-11].

Положительный опыт работы ТПА с обжимным станом [6-8] является основанием для реализации данной технологии на других, в том числе зарубежных, трубопрокатных агрегатах.

Следует признать, однако, что дооснащение каждого ТПА оборудованием обжимного 3-х валкового стана по ряду причин не всегда возможно в условиях

действующего производства, т.к. является весьма затратным, и поэтому не всегда экономически и технологически оправданным.

Кроме того возникают новые технологические трудноразрешимые проблемы, усложняющие производственный процесс и эксплуатацию технологического оборудования, в частности для реконструируемых ТПА необходимым условием является наличие свободных производственных площадей с возможностью размещения в технологической линии оборудования и механизмов обжимного стана, а это не всегда выполнимо. Например, на ТПА 140-1 и ТПА-220 ОАО «ПНТЗ», используемых, главным образом, для изготовления труб из высоколегированных и коррозионостойких марок сталей, установка обжимных станов наиболее целесообразна, однако именно вследствие отсутствия свободных производственных площадей – невозможна.

По-иному поставленную проблему, связанную с унификацией непрерывнолитой трубной заготовки, можно решить для условий производства труб на современных ТПА-140, введенных в эксплуатацию относительно недавно (в 80-90 годах XX столетия) и оснащенных мощным технологическим оборудованием, отвечающим современным техническим требованиям. К ним относятся ТПА-140 ОАО «СинТЗ», ОАО «ЧТПЗ», Днепропетровского трубного завода (ОАО «ДТЗ») и другие. Наличие, например, в составе ТПА-140 ОАО «СинТЗ» грибовидного косовалкового прошивного стана с индивидуальным приводом на каждый валок мощностью по 1900 кВт, позволяющего вести процесс прошивки на углах подачи до 20°, а так же двух параллельно работающих 3-х валковых обкатных станов винтовой прокатки, работающих на углах подачи до 14°, с возможностью осуществлять дополнительное обжатие трубы по стенке до 15%, создают определенный деформационный резерв, который можно целенаправленно использовать для дальнейшего совершенствования технологии производства труб.

1.1 Технические и технологические предпосылки совершенствования винтовой прошивки

Процесс винтовой прошивки круглой заготовки любого типа осуществляют либо с увеличением наружного диаметра гильзы относительно диаметра заготовки ($D_3/D_r < 1$), где D_3 – диаметр заготовки, D_r – наружный диаметр гильзы; либо с уменьшением диаметра гильзы относительно диаметра заготовки ($D_3/D_r > 1$); либо с обеспечением равенства диаметров заготовки и гильзы ($D_3/D_r = 1$).

Общепринятой является технология прошивки, при которой диаметр заготовки отличается от диаметра гильзы не более чем на $\pm 5,0\%$.

В практике производства случаются исключения с превышением упомянутых пределов до $\pm 10\%$ [1] и даже до 12% , что более характерно для случаев прошивки с увеличением наружного диаметра гильзы.

В результате анализа условий прошивки по трем схемам ($D_3/D_r < 1$, $D_3/D_r > 1$ и $D_3/D_r \approx 1$), проведенного по таблицам прокатки ряда ТПА, было установлено:

- В технологических линиях различных трубопрокатных агрегатов используются прошивные станы с различными типами валков – в зависимости от типоразмеров используемых трубных заготовок и изготавливаемых труб.

- Наиболее распространенными и универсальными являются прошивные станы с бочковидными валками, на которых прошивают гильзы в широком диапазоне геометрических размеров по стенке и диаметру.

- Разность между диаметрами заготовки и гильзы для схем прошивки с увеличением диаметра гильзы достигает 10% при средних значениях $4,0-6,0\%$.

- Разность между диаметрами заготовки и гильзы для схем прошивки с уменьшением диаметра гильзы достигает $9,0\%$ при средних значениях $2,5-4,0\%$, причем максимальное значение отмечено для случаев прошивки заготовок в толстостенные гильзы с отношением ($D_r/S_r = 3,7-6,4$), где S_r – толщина стенки гильзы, и при использовании чашевидных валков, которыми дооснащен прошивной стан ТПА 50-200 ОАО «ВТЗ».

– На грибовидных прошивных станах процесс прошивки осуществляют, как правило, по схеме прошивки с увеличением или обеспечением равенства диаметров заготовки и гильзы. Разность между диаметрами заготовки и гильзы достигает 17,0% при средних значениях 5,0-8,0%, при этом, в процессе прошивки получают преимущественно тонкостенные гильзы с $D_r/S_r=13,0-20,0$ или гильзы со средней толщиной стенки $D_r/S_r=9,0-13,0$, что подтверждает кинематические особенности прошивных грибовидных станов и их ориентированность на прошивку гильз преимущественно тонкостенного сортамента [55-57].

– На прошивных станах, оснащенных бочковидными валками, успешно осуществляют процесс прошивки заготовки в гильзы с различной толщиной стенки и отношением D_r/S_r .

Прошивной стан с бочковидными валками занимает промежуточное положение между станами с грибовидными и чашевидными валками и наиболее оптимальным вариантом для него является прошивка обеспечивающая равенство диаметров заготовки и гильзы, с отклонениями в ту или иную сторону.

Таким образом, наибольшую степень интенсификации процесса для случая прошивки с увеличением диаметра гильзы обеспечивают прошивные станы с валками грибовидного типа. Для случая прошивки с уменьшением диаметра гильзы наиболее подходящими являются прошивные станы с валками чашевидного типа.

Приведенные данные и результаты анализа убедительно иллюстрируют целенаправленность использования каждого типа прошивного стана и подтверждают известные положения и рекомендации [2, 3] по оснащению ими трубопрокатных агрегатов.

Для грибовидной схемы, ориентированной на прошивку тонкостенных и среднестенных гильз и работу с увеличением диаметра гильзы, процесс прошивки с уменьшением диаметра гильзы является наименее приемлемым из рассматриваемых схем [15].

Это не означает, что процесс прошивки с уменьшением диаметра гильзы для грибовидной схемы невозможен – он ограничен в большей степени, чем для

прошивки в бочковидных и чашевидных валках, и тем больше, чем выше отношения D_3/D_r и D_r/S_r .

На рисунке 1.1 показаны характерные рабочие диапазоны относительного расширения диаметра гильзы в зависимости от отношения к толщине стенки, в которых работают прошивные станы с грибовидными (коническими) и бочковидными (бочкообразными) валками [16].

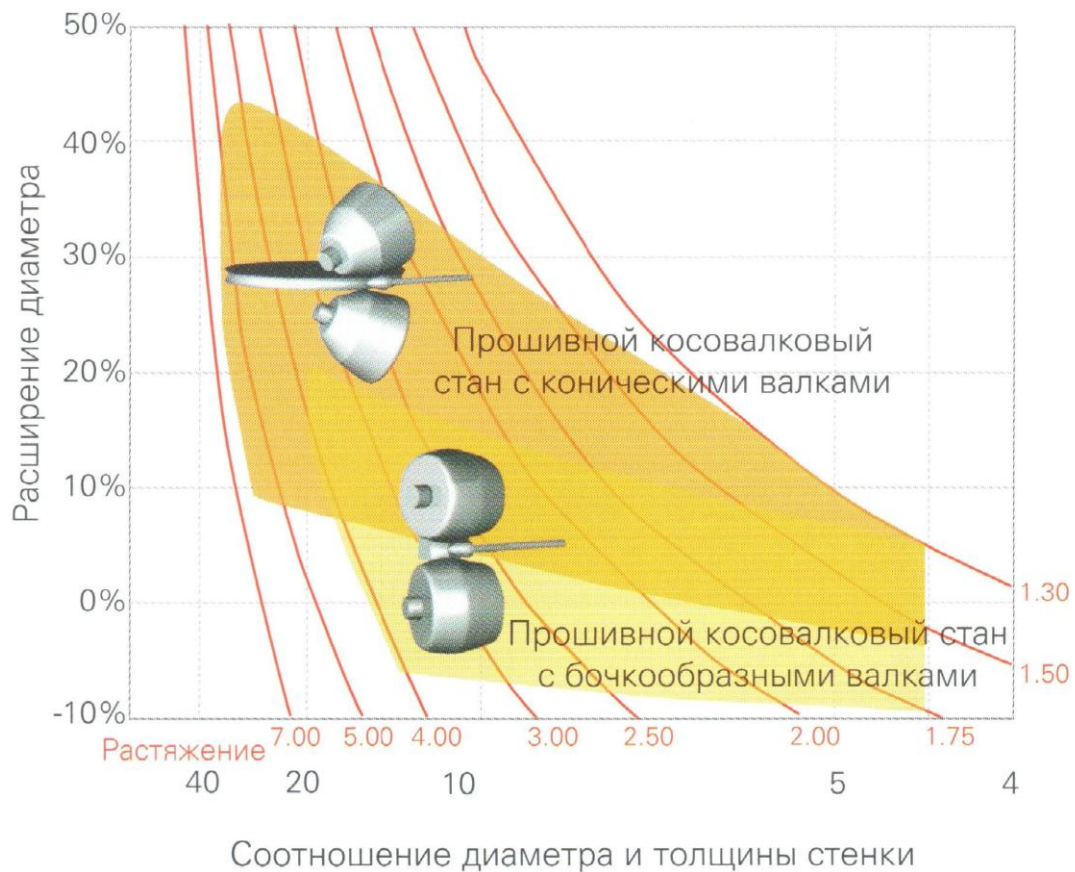


Рисунок 1.1 – Характерные диапазоны работы с увеличением/уменьшением диаметра гильзы на прошивных станках с грибовидными и бочковидными валками для различных соотношений D_r/S_r [16]

Проблема прошивки с уменьшением диаметра гильзы связана с исследованием и выбором основных технологических факторов и прежде всего геометрических параметров очага деформации, оказывающих существенное влияние на процесс прошивки, качество труб и производительность прошивного стана.

К ним относятся отношение D_3/D_r ; отношение L/D_3 , где L – длина очага деформации; отношение l_0/D_3 , где l_0 – длина участка очага деформации от захвата заготовки валками до носка оправки.

Анализ таблиц прокатки основных ТПА-140 за периоды 1955-56 и 1967-68 годов приведенный в работе [15] показал явную тенденцию к увеличению отношения D_3/D_r (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Объем производства труб, прокатанных при различных отношениях D_3/D_r в период 1955-1968 годов [15]

D_3/D_r Период	>1,015	0,985-1,015	<0,985
1955-1956	18%	29%	53%
1967-1968	40%	49%	11%

Одновременно отмечено, что за 12-летний период средняя величина прироста диаметра заготовок, используемых на ТПА, увеличилась незначительно и составила всего лишь 1,5%.

Такая закономерность обусловлена стремлением с одной стороны повысить производительность прошивного стана, а, следовательно, для ряда случаев, и всего ТПА посредством прошивки заготовок повышенного диаметра, с другой – устоявшимся, и не без основания, воззрением, что технология прошивки с уменьшением диаметра гильзы сверх определенного допустимого предела (более 5,0%) характеризуется повышением энергосиловых параметров процесса, ухудшением качественных показателей гильз и труб, а также интенсификацией износа прокатного инструмента.

Учитывая изложенное представляет интерес рассмотреть и проанализировать результаты исследований, касающихся процесса винтовой прошивки заготовок с существенным отношением D_3/D_r .

В технической литературе возможность прошивки заготовок с уменьшением диаметра рассматривается в работах П.Т. Емельяненко [17], А.П. Чекмарева, Ю.М. Матвеева, В.Н. Выдрина, Я.С. Финкельштейна [15] и П.К. Тетерина [18].

Общим в работах является утверждение, что увеличение диаметра заготовки, при прочих равных условиях прошивки, приводит к росту поперечной деформации на оправке и, соответственно, положительных проекций сил трения на тангенциальное направление. В результате создается дополнительный резерв сил трения и увеличивается зона опережения в тангенциальном направлении. Увеличение диаметра заготовки также способствует созданию опережения в осевом направлении.

В работе [15] приводится пример прошивки заготовки диаметром 100 мм в гильзу размером $93 \times 7,0$ мм при величинах обжатия в пережиме 16,4% и угле подачи $8,5^\circ$, в процессе которой коэффициент осевой скорости составил 1,293, при этом нагрузки на привод прошивного стана и расход энергии увеличились.

В частности показано, что при увеличении диаметра заготовки снижается скорость пластической деформации, увеличивается среднее частное обжатие за полуоборот заготовки. Возрастают также величина обжатия перед носком оправки, отношение диаметров заготовки – вала и заготовки – носка оправки.

Все перечисленные параметры, за исключением увеличения обжатия перед носком оправки, положительно влияют на условия деформации осевой зоны заготовки, и, следовательно, должны приводить к улучшению качества внутренней поверхности гильз и труб.

То же относится и к качеству наружной поверхности. Дефекты на наружной поверхности гильз вызваны главным образом наличием пороков в поверхностных слоях заготовки. Вскрытию дефектов на наружной поверхности способствуют расширение гильзы в выходном конусе очага деформации, сопровождающееся увеличением пластического изгиба при овализации поперечного сечения полого тела и пластического сдвига при скручивании. Уменьшая воздействие перечисленных фактов путем использования для прошивки заготовки повышенного диаметра, можно улучшить качество поверхности гильз и труб. Применение заготовок увеличенного диаметра так же обеспечивает возможность уменьшить длину заготовки, применять в ряде случаев двухрядный нагрев

заготовок в нагревательной печи, повышая тем самым ее производительность, улучшить качество нагрева и сократить расход металла за счет уменьшения угара.

Таким образом, обобщенный факторный анализ, касающийся проблемы винтовой прошивки заготовок повышенного диаметра, предполагающей ведение процесса с уменьшением диаметра гильзы, показал целый ряд положительных признаков, определяющих целесообразность его практической реализации.

С этих позиций представляет интерес рассмотреть пути и способы решения данной проблемы в практике трубопрокатного производства.

1.2 Пути и способы решения проблемы получения гильз с уменьшением диаметра

Круглая катаная заготовка – это продукт переработки слитка на блюминге и в заготовочных станах – поставлялась на ТПА, как правило, металлургическими заводами в широком ассортименте по размерам (с шагом изменения диаметров 5-10 мм) [67-71].

Соответственно, прошивные станы работали по наиболее комфортным схемам прошивки, т.е. с условием $D_3 \leq D_r$. При этом, в случае отсутствия заготовки необходимого диаметра, допускалось ведение прошивки с небольшим уменьшением гильзы по диаметру (2,0-5,0%). Тем самым обеспечивалась маневренность и производительность трубопрокатного агрегата.

В 50-х годах в связи с возросшими потребностями народного хозяйства в горячекатаных бесшовных трубах, была поставлена задача в существенном увеличении производительности ТПА и, в частности, малых ТПА-140.

Одним из путей решения проблемы, наряду с оснащением ТПА многоклетьевыми редукционно-калибровочными станами, было определение возможностей «унификации» трубных заготовок на основе использования прошивки заготовок повышенного диаметра и осуществления процесса прошивки со значительным (более 5,0%) уменьшением гильзы по диаметру.

Еще большую значимость проблема «унификации» трубных заготовок, и связанная с ней необходимость разработки технологии прошивки с уменьшением гильзы по диаметру приобрела в настоящее время в связи с массовым освоением непрерывнолитой круглой заготовки для производства бесшовных труб. Сложность решения проблемы, как было отмечено, состоит в том, что минимальный диаметр непрерывнолитой заготовки круглого сечения по условиям формирования слитка круглого сечения в кристаллизаторе составляет 156 мм, в то время, как самая многочисленная группа малых ТПА-140, использует для прошивки в гильзы круглые катаные заготовки диаметром от 90 до 150 мм.

Таким образом, данные ТПА вынуждены осваивать технологию производства труб из НЛЗ диаметром 156 мм с ориентацией работы технологического оборудования на уменьшение подката на каждой операции горячего передела: «заготовка – гильза – черновая труба – чистовая труба».

Рассмотрим некоторые современные пути решения проблемы повышения производительности и использования НЛЗ на различных отечественных ТПА.

Наиболее простым решением является «глобальная унификация» трубной заготовки по диаметру на базе объединения всех имеющихся типоразмеров. Пример такого решения представляет новая технология производства труб из «унифицированной» трубной заготовки диаметром 400 мм, разработанная специалистами Северского трубного завода (ОАО «СТЗ») для нового прошивного стана ТПА 8-12.

Данный ТПА предназначен для изготовления труб диаметрами 219, 245, 273 и 325 мм из заготовок диаметрами 290, 360 и 400 мм.

В ходе освоения ТПА с новым прошивным станом грибовидного типа конструкции ОАО «ЭЗТМ» при использовании упомянутых типоразмеров НЛЗ были достигнуты удовлетворительные качественные показатели по состоянию внутренней поверхности, в частности вопрос, касающийся качества труб, с дефектом «внутренняя плена» в 2008-2009 годах был снят из категории проблемных.

В ходе освоения процесса прошивки на новом прошивном стане последовательно проводились работы по «унификации» используемых для прошивки заготовок. Процессу «унификации» благоприятствовало условие прошивки заготовки в толстостенные гильзы, с $D_r/S_r=5,5-6,5$, предназначенные для дальнейшей раскатки в пилигримовых станах.

Последовательно была освоена технология изготовления труб диаметром 245 мм из заготовок диаметром 400 мм, а затем и труб диаметром 219 мм из тех же заготовок [22]. В настоящее время в результате достигнутой полной «унификации» диаметра заготовки (400 мм) проблема качества поверхности труб вновь превратилась в актуальную и требующую решения, особенно для производства труб из легированных сталей. Снизилась так же стойкость прокатного инструмента прошивного стана.

Осенью 2014 года на ОАО «СТЗ» состоялся пуск непрерывного стана (FQM), требующего для раскатки более тонкостенные гильзы (вместо гильз размером 390×68-80 мм для раскатки на пильгер-стане, требуются гильзы с минимальным размером 390×26,9 мм). Поэтому завод вынужден вновь перейти на использование дифференцированного сортамента заготовок с диаметрами 290, 360 и 400 мм.

По-иному решался вопрос «унификации» трубной заготовки на ОАО «ВТЗ». Для получения заготовок диаметром менее 196 мм использовали технологическую линию ТПА 50-200 и, в частности, нагревательные печи, оборудование 3-х валкового раскатного стана Асселя, холодильник и прочее оборудование для деформационной переработки НЛЗ диаметром 196 мм в заготовки меньших размеров, вплоть до диаметра 150 мм. НЛЗ перерабатывалась в катаную заготовку диаметром 150 (156) мм, оборудование и, собственно, сам ТПА 50-200 использовались в этом случае в качестве заготовочного стана [23, 34].

Очевидно, такая схема получения заготовок малого диаметра является контрпродуктивной и использовалась как временная.

Более прогрессивным является дооснащение имеющегося оборудования прошивного стана с бочковидными валками шестеренной клетью,

обеспечивающей возможность вести процесс прошивки в чашевидных валках с углом раскатки 8° и на повышенных до 14° углах подачи. В данном случае была использована особенность ТПА 50-200, ориентированного на производство труб толстостенного и среднестенного сортамента для предприятий машиностроения и подшипниковых заводов.

Наилучшей схемой для прошивки толстостенных гильз является чашевидная, обеспечивающая максимально-возможное уменьшение диаметра гильзы, а так же проработку литой структуры. Сообщается, что с использованием чашевидных валков была успешно достигнута и реализована технология прошивки заготовки диаметром 156 мм в гильзу размером $126 \times 18,0$ мм при величинах обжатия в пережиме 22-28%, коэффициенте оваллизации 1,08-1,1 и угле подачи 14° . Металлографическое исследование показало полную проработку поперечного сечения и отсутствие литой структуры [24].

Более того, убывающий в направлении прокатки диаметр вала и, соответственно, укороченный шаг деформации позволил снизить энергосиловые параметры процесса прошивки. Всего было прокатано 18 труб, по результатам опытной прокатки сделан вывод «о принципиальной возможности прошивки НЛЗ в гильзы с уменьшением диаметра относительно диаметра заготовки до 25% за один проход» с обеспечением высокой точности и качества гильз по состоянию наружной и внутренней поверхностей [24].

Касаясь результатов исследований, следует отметить относительно малые величины длин заготовок (около 1,5 м), прошитых гильз (около 4,5 м), коэффициента вытяжки на прошивном стане (около 3,0), частоты оборотов валков (≈ 42 об/мин) и темпа прошивки (≈ 2 мин). При таких относительно невысоких технологических параметрах процесса прошивки не представляется возможным всесторонне и объективно оценить работу и стойкость прокатного инструмента, в частности линеек прошивного стана.

В рассматриваемой работе эта очень значимая информация отсутствует, хотя исследователи считают линейку «тяжелонагруженным направляющим инструментом, требующим усовершенствования».

Сведения об износе линеек прошивного стана, работающего на чашевидных валках с уменьшением гильзы по диаметру, отмечены в диссертационной работе К.Л. Марченко [25]. Средняя стойкость линеек составила 132 прошивки, оправок – 220 прошивок. Анализ состояния поверхности линеек после эксплуатации показал, что основной причиной выхода их из строя стало растрескивание и крошение поверхности на участках контакта с заготовкой. В отношении работы чашевидных валков подчеркивается, что после проката 200-220 тонн, происходит нарушение первичного захвата вследствие истирания шероховатости и снижения их тянущей способности.

Отмечено, что «снижение» износостойкости технологического инструмента прошивного стана, частая его замена, привели к некоторому уменьшению производительности и ухудшению качества труб. Например, выход годного по трубам составил 97,22% при нормативе 98,8%.

В работе подчеркивается, что успешное внедрение новой технологии прошивки непрерывнолитой заготовки с повышенными обжатиями из углеродистых и легированных сталей, возможно только при достаточно высокой износостойкости технологического инструмента, в особенности направляющих линеек, и удовлетворительной тянущей способности валков (для достижения высоких степеней обжатий угол входного конуса составлял 8°)!

Вопросу усовершенствования конструкции линеек прошивного стана посвящена работа, согласно которой предложено линейки выполнять водоохлаждаемыми [26] с системой каналов, расположенных внутри тела линейки. Линейки были изготовлены и испытаны на прошивном стане ТПА 50-200 ОАО «ВТЗ».

По результатам исследования температурного поля водоохлаждаемой линейки были сделаны выводы о «смещении цикла изменения напряженного состояния в область сжимающих напряжений, что значительно снижает повреждающую способность цикла» и способствует повышению стойкости линеек [26].

Однако, более конкретной информации о работе водоохлаждаемых линеек и их износостойкости не имеется. Касаясь проблемы использования «водоохлаждаемых» линеек, следует отметить, что практическая реализация этого нового, полезного технического решения, учитывая менталитет, уровень технической культуры современного отечественного трубопрокатного производства, трудоемкость изготовления и сложность эксплуатации в условиях массового производства труб, не может быть отнесена к числу наиболее значимых.

В настоящее время наиболее простым и успешно реализуемым способом повышения износостойкости технологического инструмента, в т.ч. линеек является выбор новых износостойких материалов, а так же разработка новых режимов термообработки.

В таблице 1.2 приведен химический состав материалов, используемых отечественными и зарубежными фирмами для изготовления линеек прошивных станков, а также оценка их износостойкости по отношению к износостойкости линеек, используемых на отечественных прошивных станках.

Таблица 1.2 – Химический состав материала и стойкость отечественных и зарубежных линеек прошивных станков

Фирма	Химический состав материала, %								Износостойкость
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	S	P	
Отечественные заводы (бидулоид)	1,7-2,0	0,3-0,5	0,3-0,5	29,0-33,0	4,0-6,0	-	≤0,05	≤0,05	1,0
«SMS MEER», Germany	0,75-0,85	0,5	1,5	27,0-29,0	49,0-51,0	4,0-5,5	-	-	4,0-6,0
Ambridge PA, USA	0,7-0,9	0,4-0,5	1,0	26,0-28,0	14,0-19,0	-	-	-	≈2,0-2,5

Данные по химическому составу материала линеек, а так же сравнительные показания износостойкости линеек, подтверждают эффективность направления, поэтому материал, используемый для изготовления линеек инофирмами, можно рекомендовать, для использования на прошивных станках любых ТПА. В большой степени рекомендация относится для случаев прошивки с уменьшением гильзы по

диаметру, а так же для прошивки заготовок из легированных и коррозионостойких сталей.

Оригинальная технология прошивки непрерывнолитой заготовки диаметром 150 мм в гильзу размером 140×15,0 мм была разработана для прошивного стана ТПА-140 специалистами ОАО «СинТЗ». Калибровка технологического инструмента прошивного стана на участке очага деформации до пережима в основе повторяет действующую калибровку валков и линеек прошивного стана.

Различие касается выходных участков валка и линейки, которые выполнены в виде кольцевых гребней с конусностью в очаге деформации 7°, образующих на выходе из очага деформации замкнутый круглый калибр меньшего диаметра, чем диаметр сформированной гильзы (рисунок 1.2 а, б).

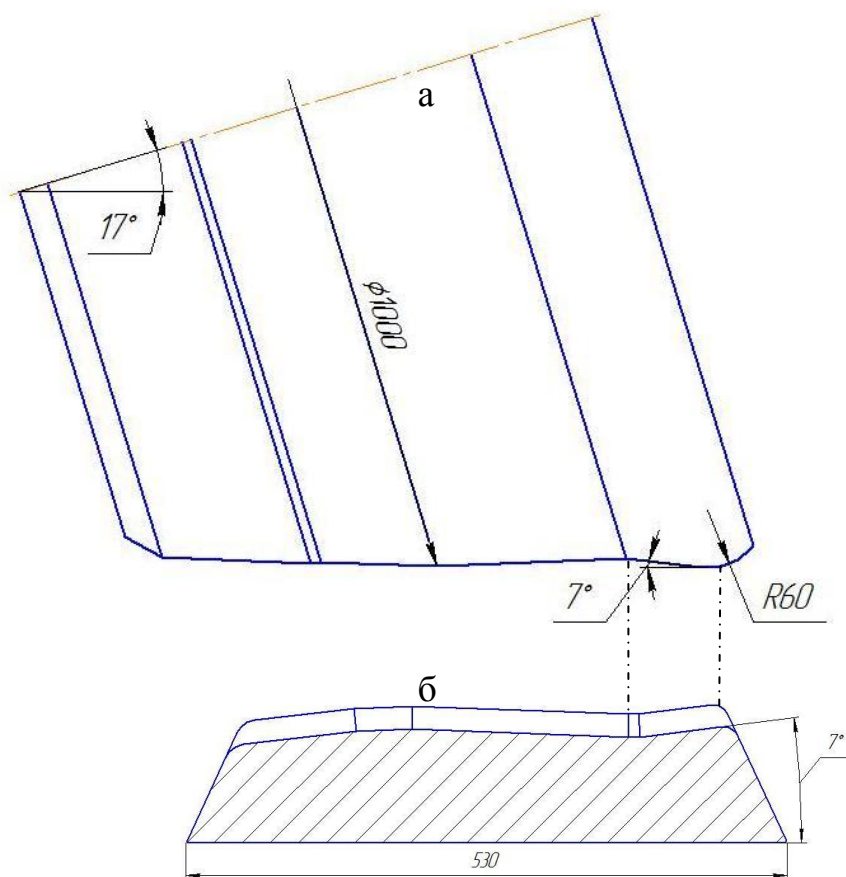


Рисунок 1.2 – Калибровка технологического инструмента прошивного стана для прошивки заготовок повышенного диаметра (ОАО «СинТЗ»): а – валок; б – линейка

Прошивка осуществляется путем чередования в очаге деформации последовательных операций: «посад» заготовки-гильзы на участке до пережима – «подъем» гильзы по диаметру на участке после пережима – повторный «посад» гильзы по диаметру на конечном выходном участке очага деформации. Такая схема «посад – подъем – посад» сопряжена с повышенным расходом энергии на прошивку.

Анализ калибровки прокатного инструмента прошивного стана также обнаруживает ряд присущих ей негативных признаков. В выходной части очага деформации размещен участок, явно дестабилизирующий процесс прошивки: рабочие гребни валков выполнены образующей с углом конусности 7° протяженностью около 100 мм и представляют собой участки лобового сопротивления, противодействующие осевому перемещению гильзы, на преодоление которого должны расходоваться активные силы трения. Еще большее сопротивление оказывают неподвижные кольцевые выступы, расположенные на выходной части линеек. Суммарное сопротивление осевому перемещению гильзы со стороны «кольцевого» калибра, меньшего, чем диаметр гильзы, должно проявиться через существенное увеличение осевого скольжения, образование осевого противооппора, и, следовательно, увеличение усилий металла на прокатный инструмент с возможной склонностью к утолщению стенки гильзы.

Опытные прокатки показали работоспособность калибровки, стабильное протекание процесса прошивки, а так же обеспечили удовлетворительную точность гильзы по диаметру и стенке. Удовлетворительным было так же качество прокатанных труб и выход количества годных труб.

Вместе с тем анализ результатов, полученных в процессе исследования данной калибровки, подтвердил ряд свойственных ей негативных признаков: средняя величина коэффициента осевой скорости, согласно проведенным замерам, составила 0,6 вместо 0,85-0,90 для процесса прошивки на действующей калибровке (без кольцевых выступов на валках и линейках). Такое существенное снижение осевой скорости гильзы и, соответственно, величины шага осевой

подачи сопровождается пропорциональным увеличением машинного времени прошивки. Совокупное действие перечисленных факторов, основными из которых являются увеличение машинного времени прошивки и повышение усилия металла на прокатный инструмент, неизбежно ужесточило работу прокатного инструмента, особенно линеек прошивного стана. Действительно, по причине, связанной с необходимостью зачистки поверхности линеек от налипания металла, было сделано три остановки прошивного стана средней продолжительностью по 20 минут каждая, что существенно снизило темп прокатки. Таким образом, при исследовании данной калибровки проблема износостойкости линеек прошивного стана (рисунок 1.3) оказалась так же одной из значимых, что подтверждает общность решения задач, для случая прошивки с «посадом» гильзы связанных, прежде всего, с обеспечением высокой износостойкости неподвижного инструмента трения.



Рисунок 1.3 – Линейка в очаге деформации прошивного стана с кольцевым калибром на выходе, обеспечивающем уменьшение диаметра гильзы до 10%

Анализ результатов проведенного исследования указывает так же на нецелесообразность размещения «посадочных» участков валка и линейки в выходном конусе очага деформации, и, напротив, необходимость их расположения на участке очага деформации «входной конус – пережим».

Наиболее полно проблемы, связанные с технологией прошивки трубной заготовки со значительным уменьшением диаметра гильзы ($D_3/D_r=1,1-1,13$) рассмотрены в работе Я.Л. Ваткина, И.Н. Гуляева, Я.Е. Финкельштейна и др. [19] на основе анализа исследований, проведенных в 1954 г. на промышленном ТПА-140 ОАО «ДТЗ». Несмотря на давность проведенных исследований, а также использование при прошивке катаных заготовок (установок непрерывной разливки стали (УНРС) в трубопрокатном производстве еще не было), данная работа не потеряла своей актуальности в плане разработанной методики и объема поставленного эксперимента. Поэтому, полученную в ходе исследований информацию, касающуюся в первую очередь скоростных, энергосиловых и качественных показателей процесса, рассмотрим более подробно.

В опытных прокатках прошивали гильзы размером $80 \times 7,0$ мм для изготовления труб размером $76 \times 3,5$ мм из заготовок диаметром 80 мм и 90 мм, а также гильзы размером $90 \times 7,0$ мм для изготовления труб размером $83 \times 4,0$ мм из заготовок диаметром 90 мм и 100 мм.

Для получения гильз одинаковых геометрических размеров вес заготовок различного диаметра принимался одинаковым.

В результате гильзы, прошиваемые из заготовок различных диаметров, имели одинаковую длину, что позволило сопоставить все показатели прошивки.

В ходе проведения исследований варьировали величину обжатия перед носком оправки от 3,5% до 14,0% без изменения геометрических размеров гильз путем перенастройки стана. В результате были получены экспериментальные данные скоростных и энергосиловых параметров процесса прошивки, на основании анализа которых установлено, что с увеличением диаметра заготовки на 10 мм, при одинаковых обжатиях перед носком оправки, скорость прошивки гильз возрастает на 20-35%. Рост скоростных показателей и, соответственно, сокращение максимального времени прошивки, авторы источника [19] объясняют уменьшением скольжения металла относительно валков.

Аналогично действует рост обжатия перед носком оправки. Так с увеличением обжатия перед носком оправки 14,0% скорость прошивки заготовок

независимо от диаметра увеличивается на 15-20%. Это объясняется изменением скольжения металла по валкам в связи с изменением условий деформации прошиваемой заготовки. Известно, что увеличение обжатия приводит к уменьшению скольжения и повышению скорости прошивки [1, 2, 17].

В свою очередь увеличение скорости прошивки приводит к росту нагрузки на двигатель и удельному расходу энергии в связи с повышением обжатия заготовки за каждый полуоборот при некотором усилении сопротивления металла деформации.

Так же в работе [19] установлено, что, при увеличении диаметра заготовки с 80 до 90 мм прирост нагрузки на привод составляет порядка 45-50%, а при увеличении с 90 до 100 мм – лишь 20-25%. При этом удельный расход энергии возрастает на 15-25%. По-видимому, эффект роста нагрузки на привод прошивного стана оказывается больше, чем сокращение времени прошивки, в результате удельный расход энергии на 1 м гильзы повышается.

Полученные экспериментальные данные имеют большое значение для оценки энергосиловых параметров прошивки, с уменьшением диаметра гильзы, поскольку, как будет показано ниже, они расходятся с результатами аналитических расчетов энергосиловых параметров с использованием существующих методик [2, 3]. Примечательный факт, на который необходимо обратить особое внимание – это двукратная разница в нагрузках на привод стана при прошивке заготовки диаметром 90 мм в гильзу размером 80×7,0 мм и заготовки диаметром 100 мм в гильзу размером 88×7,0 мм. При сопоставимых размерах прошитых гильз такая разница в нагрузках на привод стана может быть обоснована не только действием масштабного фактора, и незначительным различием обжатий в пережиме, но и меньшим «уковым» заготовки диаметром 100 мм в сравнении с «уковым» заготовки диаметром 90 мм. Действие данного фактора может оказаться решающим при оценке энергосиловых параметров прошивки в отношении НЛЗ, не имеющей «укова».

Из анализа качественных показателей прокатанных труб [19] следует, что в целом уровень качества труб, прокатанных из заготовок повышенного диаметра,

по всем показателям повысился: увеличился на 4-7% выход годного, снизилось количество труб, направляемых на перерез после первичного осмотра по причинам разностенности, внутренним и наружным пленам.

Улучшение качества труб авторы [19] объясняют действием следующих факторов: снижением обжата и степени расширения гильзы в выходном конусе по отношению к размерам в пережиме, а также уменьшением скручивания заготовки-гильзы. Так при прошивке заготовок диаметром 90 и 100 мм в гильзы размером 90×7,0 мм расширение гильзы в выходной части валков по отношению к пережиму составляет 8,5 и 1,7% соответственно. В результате этого скручивание (определенное по изменению угла продольной риски, нанесенной на поверхность заготовки) по отношению к оси гильзы составило 36°10' и 23°45' соответственно. Не отрицая позитивного воздействия данного фактора на процесс дефектообразование (в основном наружной поверхности), следует отметить, что наиболее значимыми факторами, как показывает практика трубопрокатного производства, являются величины обжатий в пережиме и перед носком оправки, угол подачи валков и коэффициент осевой скорости процесса прошивки.

Сомнения в корректности полученных показателей качества возникают при сопоставлении последних с качественными показателями труб, другой опытно-промышленной прокатки, с процессом прошивки, прямо противоположном исследуемому, т.е. с использованием уменьшенного диаметра заготовки [20]. Величины обжатий при прошивке заготовок как с уменьшением, так и с увеличением диаметра гильзы были сопоставимыми и составляли 12,5 и 13,0% соответственно. Следует отметить, что исследования процесса прошивки как с уменьшением, так и с увеличением диаметра гильзы проводились под руководством одного и того же автора, д.т.н. Я.Л. Ваткина. Как следует из данных, представленных в работе [20], количество труб, с дефектами на внутренней поверхности, прокатанных в условиях прошивки гильз с увеличением диаметра, так же как и в случае прошивки с уменьшением диаметра гильз, существенно сократилось. Таким образом, получены взаимоисключающие данные по качественному состоянию внутренней поверхности труб. Это означает, что, по

крайней мере, в одной из двух опытных прокаток анализ качества труб по внутренним дефектам, был проведен либо некорректно, либо при анализе наложилось действие случайного фактора, и требуются дополнительные исследования, набор и систематизация статистических данных по качеству труб и их анализ.

Важнейшей характеристикой процесса прошивки заготовки с уменьшением диаметра гильзы, во многом определяющей возможность использования данной технологии, является условие обеспечения приемлемой для условий производства износостойкости прокатного инструмента.

Отмеченные выше увеличения скорости и нагрузки при прошивке должны негативно отразиться на износостойкости инструмента. Приведенная в работе [19] информация касается износостойкости оправок (в 50-х годах использовали для прошивки сменные не водохлаждаемые оправки). В работе отмечено, что бóльшая стойкость по состоянию износа носика оправки после 30 прошивок оказалась для случаев прошивки с уменьшением диаметра гильзы, т.е. при использовании заготовок большего диаметра и больших обжатий перед носиком оправки и в пережиме. В данном случае, несмотря на бóльшие усилия на оправку, превалирующим фактором, определяющим пониженный износ оправки, оказался скоростной фактор, связанный с сокращением машинного времени прошивки.

В настоящее время на большинстве прошивных станков отечественных малых ТПА-140 внедрена технология прошивки с использованием водоохлаждаемых несменяемых оправок, стойкость которых на порядок выше, чем сменяемых, поэтому вопрос, связанный с износостойкостью оправок не является столь актуальным. Более важным, требующим решения, особенно для технологии прошивки заготовок повышенного диаметра, был и остается вопрос стойкости неподвижного инструмента трения – линеек, образующих с валками и оправкой закрытый калибр.

В рассматриваемой работе [19] этот вопрос практически не освещен.

С увеличением степени тонкостенности гильзы, и соответственно интенсификации деформации металла в поперечном направлении, роль линеек в

трансформации поперечной составляющей деформации в продольную – возрастает. Линейки превращаются из поддерживающего и направляющего инструмента в активно работающий, деформирующий инструмент трения. В результате на них совершается большая работа, сопровождаемая интенсивным трением скольжения и разогревом рабочей поверхности. В итоге происходит сваривание материала линейки с металлом заготовки, налипание металла, с образованием локальных вырывов, «сверчков», задиров и прочих дефектов. Часто процесс сопровождается растрескиванием и выкрашиванием рабочей поверхности линейки. Все это приводит к преждевременному износу и разрушению линеек, необходимости их оперативной замены, поскольку основная опасность при работе на изношенных линейках заключается в нарушении стабильности процесса и ухудшении качества гильз и труб.

Основное влияние на стойкость линеек оказывают: химический состав прокатываемого металла, длина прошиваемой гильзы, время прошивки, а также величина усилий металла на прокатный инструмент. Существенную роль, как уже было отмечено ранее, играет степень тонкостенности прошиваемых гильз, проявляемая через повышенный коэффициент овализации заготовки-гильзы в пределах 1,11-1,15-1,2.

Увеличение коэффициента овализации выше 1,15, при высокой частоте вращения валков способствует росту динамических характеристик системы «заготовка – гильза – упорный стержень», «ужесточению» процесса прошивки, интенсификации работы и износа линеек.

В 1965 г. на прошивном стане ТПА-140 Азербайджанского трубопрокатного завода («АзТЗ») были проведены работы, в процессе которых прокатывали трубы размером 127-133×4,0-6,0 мм из заготовок диаметром 135 мм вместо 130 мм и трубы размером 57-89×3,5-6,0 мм из заготовок диаметром 100 мм вместо 90 мм [21].

Особенностью данной работы была степень уменьшения диаметра гильзы на 3,7-11,1%.

Основная цель исследования – снижение брака на наружной поверхности труб. При этом, посредством прошивки гильз с уменьшением диаметра предполагалось значительно уменьшить растягивающие напряжения на поверхности заготовки-гильзы, и за счет этого снизить количество наружных плен, вскрывающихся на поверхности труб на базе поверхностных дефектов заготовок металлургического или прокатного (заготовочный стан) происхождения.

В представленной в источнике [21] информации приведен статистический анализ качественных показателей труб, изготовленных по обычной технологии прошивки (заготовки диаметром 130 и 90 мм) и по технологии прошивки заготовок диаметром 135 и 100 мм. По результатам исследования трубопрокатный цех полностью перешел на прокатку тонкостенных труб диаметром 127-133 мм и 57-89 мм из заготовок увеличенного диаметра (135 и 100 мм).

Согласно данным [21], за год до и после перехода на новый диаметр заготовок уровень выхода II сорта снизился с 9,7 до 6,14%, причем в основном уменьшилась доля труб с наружными пленами с 6,05 до 3,27%. Отбраковка труб по внутренним пленам уменьшилась с 1,30 до 1,16%. Однако, доля окончательного брака увеличилась с 0,76 до 0,83%, в том числе по наружным пленам с 0,38% до 0,48% и по внутренним пленам с 0,12 до 0,14%.

Комментируя результаты качественных показателей, полученных по результатам опытных прокаток, отметим эффективность использования технологии прошивки гильз с уменьшением диаметра в направлении снижения количества дефектов, прежде всего на наружной поверхности гильз и труб. Количество труб с дефектами на внутренней поверхности сократилось незначительно, на 0,14%.

Кроме того, в данной работе, также как и в рассмотренной выше [19], имеет место факт, когда при уменьшении количества труб, переводимых по тому или иному виду дефектов во II сорт, увеличивается одновременно количество труб, переводимых в окончательный брак, что также нивелирует качественные показатели.

Таким образом, проведенные в 60-70-х годах исследования на промышленных ТПА-140 ОАО «ДТЗ» и «АзТЗ» по прошивке заготовок повышенного диаметра с уменьшением диаметра гильз в пределах 3,7-11,0% и 12,5-13,0%, показали возможность использования данной технологии как по уровню скоростных, энергосиловых параметров процесса, так и по качественным показателям, оставив, все-таки, неосвещенным ряд проблем, без решения которых широкая промышленная реализация не представляется возможной.

Подтверждением сказанному является тот факт, что до настоящего времени процесс прошивки заготовок повышенного диаметра не нашел широкого использования на различных ТПА, прошивные станы которых работают по обычной схеме: с прошивкой заготовки в гильзу по схеме «размер в размер», с увеличением диаметра гильзы в пределах 4-6%, а также с незначительным уменьшением ее диаметра в пределах 2-4%, обеспечивающей максимальную маневренность ТПА при удовлетворительном качестве труб.

Возможными препятствиями для внедрения технологии прошивки заготовок повышенного диаметра являются:

- дефицит мощности приводов прошивных станов;
- конструктивные недостатки оборудования станов – ограничение угла подачи величинами $7^{\circ}30'$ - $10^{\circ}30'$;
- отсутствие жаростойких, жаропрочных антифрикционных материалов для изготовления прокатного инструмента (оправок и линеек);
- отсутствие износостойких водоохлаждаемых оправок;
- наличие только неподвижных направляющих линеек и отсутствие приводных направляющих дисков.

Однако, значимость проведенных работ состоит в том, что несмотря на отмеченные технические и технологические несовершенства, проблема использования для прошивки заготовок повышенного диаметра была поставлена, и впервые на основе полученных данных были показаны возможность, полезность и перспективность использования данного направления.

В последнее десятилетие интерес к процессу прошивки с уменьшением диаметра гильзы возник вновь и на новом уровне, что связано с определенными успехами как в области металлургии, так и в области трубопрокатного производства.

Кроме того технический прогресс, ужесточение экономических требований диктуют необходимость замены неэффективных технологий, связанных с наличием вторичных переделов, а также необходимость «унификации» сортамента используемых НЛЗ. В этом плане переход на производство труб из НЛЗ повышенного диаметра, менее затратных и более качественных, оправдан и должен обеспечить значительный экономический эффект.

1.3 Перераспределение деформации между станами винтовой прокатки

На трубопрокатных агрегатах с автоматическими раскатными станами, в отличие от прочих ТПА, технология производства включает обязательную дополнительную операцию по чистовой отделке труб – обкатку (риллингование), которую осуществляют на обкатных станах винтовой прокатки, преимущественно 2-х валкового типа. Обкатной стан (риллинг-стан) – стан поперечно-винтовой прокатки, предназначенный для обкатки стенки труб и полировки ее наружной и внутренней поверхности...» [31].

При анализе технологического оборудования ТПА-140 ОАО «СинТЗ» особый интерес вызывает наличие в технологической линии горячего передела двух мощных, параллельно работающих 3-х валковых обкатных станов винтовой прокатки. Техническая характеристика оборудования трехвалкового обкатного стана конструкции ЭЗТМ приведена в таблице 1.3 [32].

Достоинством этих станов является многовалковый калибр, исключаящий наличие направляющего и поддерживающего инструмента – линеек, так же достаточно мощный индивидуальный привод, определяющий возможность вести процесс обкатки на повышенных, до 14° , углах подачи с деформацией трубы по толщине стенки до 15,0%. Перечисленных преимуществ достаточно для

расширения функциональных возможностей стана за счет выполнения операции обкатки трубы с одновременным уменьшением ее по наружному диаметру.

Таблица 1.3 – Техническая характеристика трехвалкового обкатного стана ТПА-140 ОАО «СинТЗ» [32]

Размеры прокатываемых труб, мм:	диаметр max/min	160/114
	толщина стенки	3,75-18
	длина максимальная	5000
Диаметр валков в пережиме, мм		650
Угол подачи, град		0-14
Угол раскатки, град		7
Привод вращения валков		Индивидуальный
Частота вращения валков, мин ⁻¹		135-280
Мощность привода, кВт		3×250
Скорость выдачи труб, м/с		3,5-7
Расчетное давление, кН:	на валок	400
	на оправку	180
Расчетный крутящий момент на валке, кН·м		20
Масса механического оборудования, т		272

В свете постановки и решения задачи, по освоению производства труб диаметром менее 121 мм из НЛЗ, следует включить в сферу рассмотрения возможность изменения технологии обкатки для деформирования трубы с уменьшением диаметра, поскольку в настоящее время использование в технологических линиях ТПА трехвалковых обкатных станов приводит к увеличению диаметра трубы на операции риллингования.

Как было отмечено ранее, процесс косовалковой прошивки с уменьшением диаметра гильзы более энергоемок, чем процесс с увеличением диаметра, вследствие интенсификации работы направляющих линеек. Однако отсутствие линеек в 3-х валковых станах винтовой прокатки, достаточная мощность привода, а так же предполагаемая возможность редуцирования труб определяют направление усовершенствования технологии получения труб диаметром менее 121 мм из НЛЗ в условиях производства на ТПА-140 оборудованных 3-х валковыми обкатными станами.

Проблема реализации технологии риллингования с уменьшением диаметра трубы рассматривалась «УралНИТИ» в 70-е годы XX столетия в совместной НИР с Руставским металлургическим заводом («РМЗ») [33].

В процессе экспериментальных исследований, проведенных на лабораторных 2-х валковых прошивных станах «РМЗ» и «УралНИТИ» был успешно осуществлен прокат по следующим схемам:

1. $60 \times 5,5$ мм (размер задаваемой трубы) $\rightarrow$ $48 \times 3,0$ мм (размер прокатанной трубы), т.е. со степенью редуцирования и утонения стенки 20,0% и 45,0% соответственно.

2. $73,0 \times 6,5$ мм $\rightarrow$ $55,0 \times 6,5$ мм, т.е. со степенью редуцирования $\approx 25,0\%$ и без утонения стенки.

На рисунках 1.4, 1.5 и 1.6 показан технологический инструмент 2-х валкового лабораторного стана винтовой прокатки для изготовления труб с уменьшением диаметра и толщины стенки, а так же с уменьшением только диаметра.

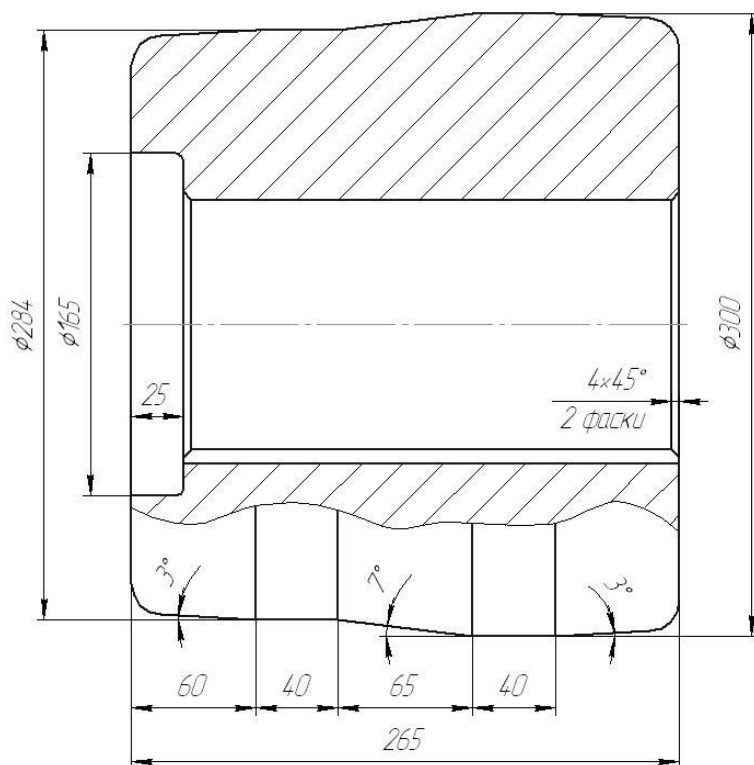


Рисунок 1.4 – Калибровка валка лабораторного стана «УралНИТИ» для исследования процесса риллингования с уменьшением диаметра трубы

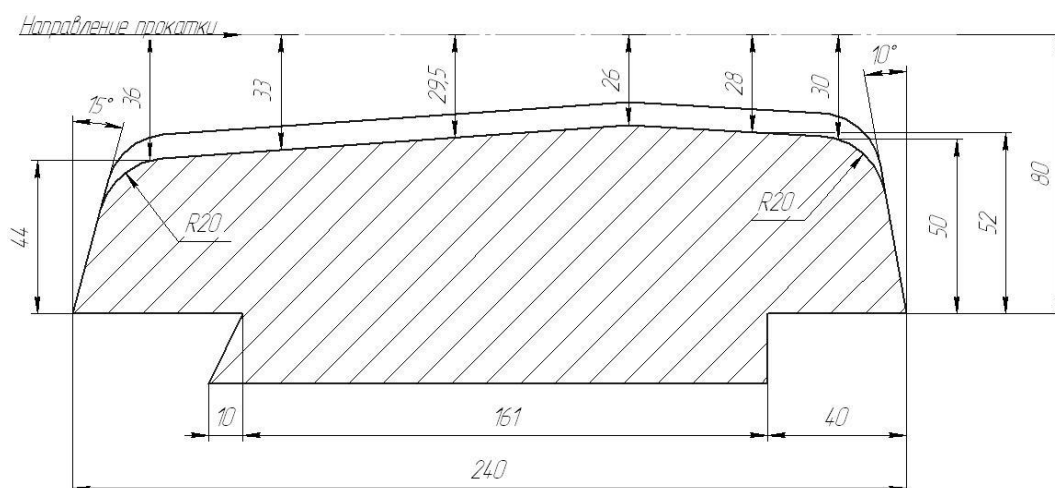


Рисунок 1.5 – Калибровка линейки лабораторного стана «УралНИТИ» для исследования процесса риллингования с уменьшением диаметра трубы

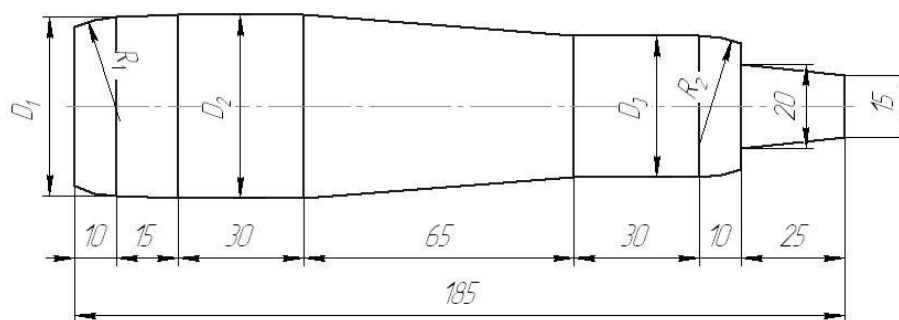


Рисунок 1.6 – Калибровка оправки лабораторного стана «УралНИТИ» для исследования процесса риллингования с уменьшением диаметра трубы

Исследования проводились на 2-х валковом лабораторном стане оснащенном направляющими линейками, которые оказывали существенное воздействие в формировании трубы, особенно для случая прокатки с одновременным утонением стенки. Следует отметить, что в 70-х годах все трубопрокатные агрегаты с автоматическими станами были оснащены только 2-х валковыми риллинг-станами, и задача исследования процесса обкатки на 3-х валковом стане не ставилась.

В ходе проведения опытных прокаток были получены качественные трубы с различной толщиной стенки. На рисунке 1.7 изображены: *а* – труба заторможенная в стане и *б* – оправка для осуществления прокатки трубы с

уменьшением диаметра. Исходный размер трубы $73 \times 6,5$ мм → конечный размер $55 \times 6,0$ мм.

В пользу рассмотрения перераспределения деформации между станами винтовой прокатки и необходимости проведения специальных исследований на обкатном стане для производства труб диаметром менее 121 мм из НЛЗ диаметром 156 мм свидетельствует, то обстоятельство, согласно которому максимальная степень уменьшения диаметра трубы на обкатном стане не должна превышать 10-11% (по условию сортамента ТПА-140). Процесс обкатки в 3-х валковом калибре наименее энергоемок и может обеспечить хорошее качество труб из-за отсутствия направляющего инструмента трения, а наличие в технологической линии двух параллельно работающих обкатных станов обеспечит широкую маневренность трубопрокатного агрегата. Одновременно данное направление не нарушает основные принципы отработанной технологии: ведение процесса прошивки без значительного уменьшения диаметра гильзы – и, следовательно, обеспечивает достаточно высокое качество гильз и труб, ответственность за которое несет операция косовалковой прошивки.

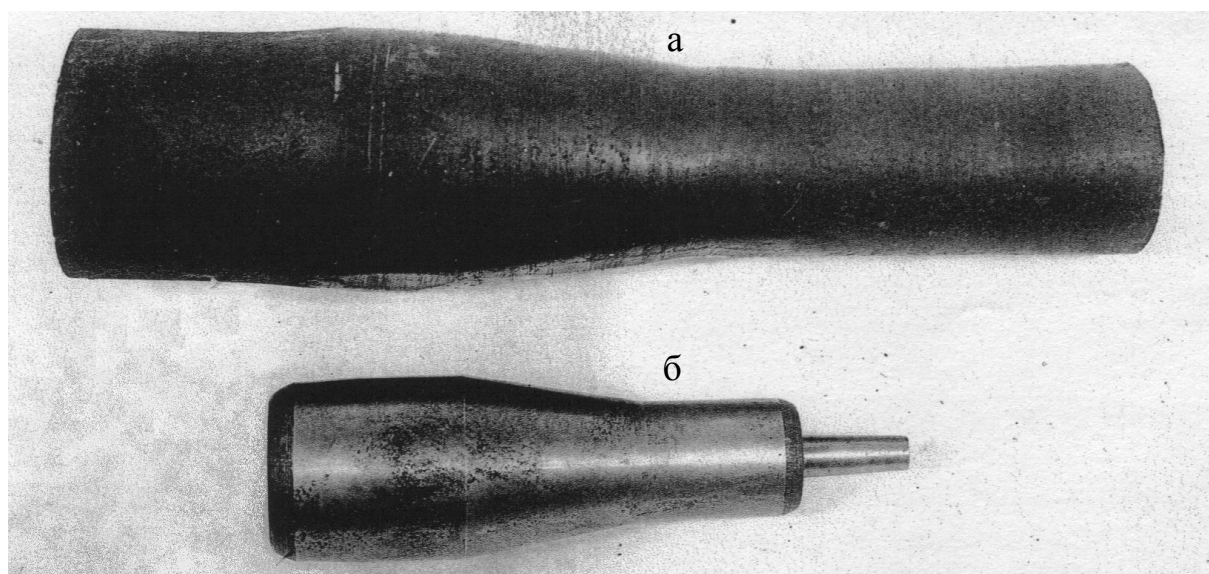


Рисунок 1.7 а – внешний вид недоката полученного в процессе исследования риллингования с уменьшением диаметра трубы (начальный и конечный размеры трубы соответственно $73 \times 6,5$ мм и $55 \times 6,5-6,0$ мм); б – оправка

1.4 Постановка целей и задач исследования

Современные тенденции развития трубопрокатного производства направлены на его интенсификацию, связанную с постоянно возрастающей потребностью в трубах различного сортамента (в том числе и малого диаметром от 73 до 121 мм), а так же, на повышение качества готовых труб. Одним из важнейших путей реализации высокого уровня производительности и качества является использование непрерывнолитой заготовки для производства труб. Однако, массовое освоение НЛЗ ограничено ее минимальным диаметром 156 мм, определяемым предельными размерами кристаллизаторов по условиям формирования в них заготовки круглого сечения.

В связи с изложенным все более актуализируется необходимость поиска новых способов производства бесшовных горячекатаных труб из НЛЗ, позволяющих охватить весь сортамент труб малого диаметра.

Проанализировав известные технические решения, и результаты ранее проводимых в данном направлении исследований сформулирована *цель диссертационной работы*: на основании анализа имеющихся работ, математического и физического моделирования усовершенствовать технологию винтовой прокатки непрерывнолитой заготовки диаметром 156 мм с целью получения труб диаметром менее 121 мм.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие *задачи*:

1. Выполнить анализ особенностей деформирования непрерывнолитых трубных заготовок.
2. Исследовать напряженно-деформированное состояние в осевой зоне НЛЗ при прошивке с повышенными обжатиями.
3. Определить рациональный температурный режим, обеспечивающий максимальную пластичность заготовки в процессе деформации.
4. Разработать математическую модель и алгоритм расчета настроечных параметров прошивного стана.

5. Предложить эффективные патентозащищенные технические решения, направленные на совершенствование технологического процесса.
6. Выполнить проверку полученных результатов в лабораторных и промышленных условиях.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ С УМЕНЬШЕНИЕМ ДИАМЕТРА

2.1 Анализ особенностей процесса прокатки в условиях ТПА-140 ОАО «СинТЗ»

Деформационные возможности станов линии горячего передела ТПА-140 оценивались на основании данных Таблицы прокатки ТК161-Т2-1602-2004 (редакция 2) Трубопрокатного цеха №2 (Т-2) ОАО «СинТЗ». При этом в основном руководствовались 4 разделом Таблицы прокатки для труб общего назначения, так как режимы прокатки труб специального назначения (НКТ, обсадные, бурильные по DIN и API) отличаются незначительно, и это отличие определяется только другими номинальными размерами готовых труб.

В состав технологической линии горячего передела ТПА-140 ОАО «СинТЗ» входит следующее оборудование:

- двухвалковый прошивной стан (ПС) винтовой прокатки грибовидного типа с неподвижным направляющим инструментом (линейками) и водоохлаждаемыми оправками;
- стан тандем продольной прокатки (СПП-1 и СПП-2);
- два трехвалковых обкатных стана (ОС) винтовой прокатки, работающих параллельно;
- редуционно-калибровочный стан продольной прокатки (РКС).

На ТПА-140 действуют следующие схемы прокатки (таблица 2.1):

- трубы диаметром 73-121 мм изготавливают из заготовок диаметром 120 мм;
- трубы диаметром 127-168 мм изготавливают из заготовок диаметрами 140, 150 и 156 мм, при этом тонкостенные трубы с толщиной стенки до 5,5 мм диаметром 127 и 133 мм предусмотрено изготавливать из заготовки диаметром 120 мм;

Таблица 2.1 – Действующие схемы прокатки на ТПА-140

Диаметр готовой трубы, мм	Диаметр заготовки, мм	Наружный диаметр гильзы, мм	Калибры СПП	Диаметр трубы с обкатного станка, мм	Диаметр готовой трубы в горячем состоянии, мм
1	2	3	4	5	6
73	120	128 126	$S_r \leq 9,0$ $S_r \geq 9,5$ 120-118	128 126	$S_r \leq 10,0$ $S_r \geq 10,5$ 73,7 74
76	120	128 126	$S_r \leq 9,0$ $S_r \geq 9,5$ 120-118	128 126	$S_r \leq 10,0$ $S_r \geq 10,5$ 76,9
89	120	128 126 128 126	$S_r \leq 9,0$ $S_r = 9,5-12$ $S_r = 12,5-15$ $S_r = 12,5-15$ 120-118	128 126 130	$S_r \leq 10,0$ $S_r = 10,5-15$ 89,6 89,9
95	120	128 126	$S_r \leq 9,0$ $S_r \geq 9,5$ 120-118	128 126	$S_r \leq 10,0$ $S_r \geq 10,5$ 95,5
102	120	128	120-118	128 126	$S_r \leq 9,5$ $S_r \geq 10,0$ 102,6 102,9
108	120	128	120-118	128 126 126 133	$S_r \leq 9,5$ $S_r = 10,0-13,5$ $S_r = 14,0-16,0$ $S_r = 14,0-16,0$ 108,5 109,1 109,3
114	120	128	120-118	128 126	$S_r \leq 9,0$ $S_r \geq 9,5$ 115,0 115,3
121	120	128 126	$S_r \leq 12,0$ $S_r \geq 12,5$ 120-118	128 126 130 133	$S_r \leq 10,0$ $S_r = 10-12$ $S_r = 12,5-15,5$ $S_r \geq 15,5$ 121,5 122,2

Продолжение таблицы 2.1

Диаметр готовой трубы, мм	Диаметр заготовки, мм	Наружный диаметр гильзы, мм	Калибры СПП	Диаметр трубы с обкатного станда, мм	Диаметр готовой трубы в горячем состоянии, мм
1	2	3	4	5	6
127	156	159	149-147	159	127,5
	150			157	
	140			156	
	120	128	120-118	136	127,5
133	156	159	149-147	159	133,7
	150			157	
	140			156	
	120	128	120-118	136	133,7
140	156	159	149-147	159	140,6
	150			157	
	140			156	
	120	128	120-118	136	141,5
146	156	167	160-158	168	146,8
	150	159	149-147	159	
	140			157	
	120	128	120-118	136	
152	156	167	160-158	168	152,7
	150	159	149-147	159	
	140			156	
	120	128	120-118	136	
159	156	167	160-158	168	160
	150	167	160-158	168	
	140	159	149-147	159	
	120	128	120-118	136	
168	156	167	160-158	168	170
	150	167	160-158	168	
	140	159	149-147	159	
	120	128	120-118	136	

- на прошивном стане прокатка ведётся с увеличением диаметра гильзы от 1,9% ($D_3=156 \text{ мм} \rightarrow D_r=159 \text{ мм}$) до 13,6% ($D_3=140 \text{ мм} \rightarrow D_r=159 \text{ мм}$);
- в клетях СПП используется многогранная калибровка; для труб общего назначения используется три пары калибров высотой 120/118 мм, 149/147 мм и 160/158 мм, кроме того имеется возможность прокатки ещё в двух парах калибров 116/114 мм и 130/128 мм;
- овальность калибров СПП-1 изменяется от 1,075 до 1,077, а калибров СПП-2 составляет около 1,04 (данные по ТК-161-T2-1518-2005);
- толстостенные трубы ($S_t \geq 14,0 \text{ мм}$) с наружным диаметром 108, 114, 152, 159 и 168 мм предусмотрено прокатывать без деформирования в клетях СПП;
- суммарные обжатия стенок в клетях СПП изменяются в диапазоне от 2,8 до 6,0 мм, причём наибольшие значения обжатия соответствуют прокатке труб со средними толщинами стенок (10,0-13,0 мм), а наименьшие обжатия используют при прокатке тонкостенных и толстостенных труб;
- обжатия по толщине стенки на обкатных станах изменяются в диапазоне 3,81-12,37%, при этом они возрастают по мере утолщения стенки; наименьшие обжатия стенки увеличения диаметра черновой трубы наблюдаются при обкатке гильз, которые не деформировались в клетях СПП;
- увеличение диаметра черновой трубы при обкатке изменяется в диапазоне 4-18 мм, при этом наибольшее значение наблюдается на трубах с максимальным отношением диаметра к толщине стенки и обжатием по стенке;
- на редуccionном 20 клетьевом стане прокатка ведётся из раската с ОС диаметром 126-136 мм с получением готовых труб диаметром 73-102 мм;
- на калибровочном 9-ти клетьевом стане фактически имеется три сквозных калибровки: первая – для прокатки готовых труб диаметрами 108, 114, 121, 127 ($S_t \leq 5,5 \text{ мм}$) и 133 ($S_t \leq 5,5 \text{ мм}$) мм из раската с ОС диаметром 136-126 мм; вторая – для прокатки готовых труб диаметрами 127-152 мм из раската с ОС диаметром 156-159 мм; третья – для прокатки готовых труб диаметрами 159-168 мм из раскатов с ОС диаметром 168-175 мм;

- термический коэффициент, примененный для расчётов готового диаметра труб в горячем состоянии (чистовых калибров) для ряда диаметров, продифференцирован ступенчато, т.е. принят меньшим для тонкостенных труб;
- толщины стенок готовых труб в горячем состоянии в таблице прокатки приведены без учёта термического коэффициента.

Для данного исследования наибольший интерес представляет первая половина таблицы 2.1, включающая схемы прокатки труб диаметрами 73-121 мм, для получения которых не предусмотрено применение НЛЗ диаметром 156 (150) мм, а используются только предварительно деформированные (катаные) заготовки диаметром 120 мм (основные технические требования к которым оговорены в [72]).

Если при прокатке труб диаметрами 73-121 мм оставить неизменными размеры поперечного сечения раската после каждого из станов линии ТПА-140, а изменить только размер заготовки (с 120 мм до 156 мм), то уменьшение диаметра гильзы при прошивке составит 19,23%, а коэффициент вытяжки при этом для самых тонкостенных гильз составит 5,68.

Вышеприведённые характеристики деформации на прошивном стане являются неприемлемыми, так как они не соответствуют требованиям получения качественной внутренней и наружной поверхности труб, сформулированным в [3, 15], а так же, как показывают экспериментальные данные [19], могут привести к перегрузке приводов и узлов конструкции прошивного стана.

Очевидна необходимость изменения размеров раската по всей линии ТПА в сторону уменьшения диаметра подката на каждой операции горячего передела или увеличение суммарного и частных обжатий на редуционном (калибровочном) стане.

Увеличение обжатия при редуцировании связано с увеличением поперечной разностенности за счёт «огранки» внутренней поверхности трубы, а так же, как показывают экспериментальные данные [19], со снижением качества внутренней поверхности за счёт образования складок на ней.

В то же время чрезмерное уменьшения диаметра гильзы при прошивке сопровождается появлением дефектности ее внутренней поверхности, которая при дальнейшей прокатке только распространяется на всё тело трубы. По этим причинам, величину уменьшения диаметра гильзы и величину редуцирования трубы после обкатного стана необходимо выбрать по критерию минимальной дефектности на готовом размере.

Уменьшение коэффициента вытяжки при прошивке (за счёт более толстостенных гильз), которое благоприятно для повышения качества, не может быть использовано на ТПА-140 ОАО «СинТЗ». Это связано с ограничениями по обжатию стенки в клетях СПП в сравнении с традиционными автоматическими станами. По условиям захвата, обжатия в клетях СПП на 30%-50% меньше, чем на автоматических станах «классического» типа (с возвратно-поступательной схемой движения труб).

В то же время наличие в составе ТПА-140 достаточно мощных трёхвалковых обкатных станов может компенсировать повышенное утолщение стенки при увеличенной степени редуцирования, за счёт назначения обжатия стенки на обкатных станах в пределах 12%-15%.

Исходя из вышесказанного, можно предложить варианты технологии прокатки труб из НЛЗ, схемы которых приведены на рисунке 2.1¹:

– маршрут I – заготовка диаметром 156 мм прошивается в гильзу диаметром 146 мм («посад» 6,41%), которая раскатывается в калибрах СПП 138/136 мм и обкатывается с «подъёмом» 9,0 мм (до диаметра 145 мм) и обжатием по стенке не менее 12%, далее трубы с наружным диаметром 121-140 мм калибруются с максимальными частными обжатиями 2,37%, а трубы с наружным диаметром 73-114 мм подвергаются редуцированию с максимальным частным обжатием 3,675%;

– маршрут II – заготовка диаметром 156 мм прошивается гильзу диаметром 139 мм («посад» 10,9%), которая раскатывается в калибрах СПП

¹ Реализация предлагаемых маршрутов может быть выполнена при условии модернизации 20-ти клетьевого редуccionного стана, посредством увеличения ширины бочки валков.

132/130 мм и обкатывается с «подъёмом» 9,0 мм (до диаметра 139 мм) и обжатием по стенке до 12%, а затем трубы с наружным диаметром 121-133 мм калибруют в 9 клетьевом стане, а трубы с наружным диаметром 73-114 мм редуцируют с частным обжатием 3,4%;

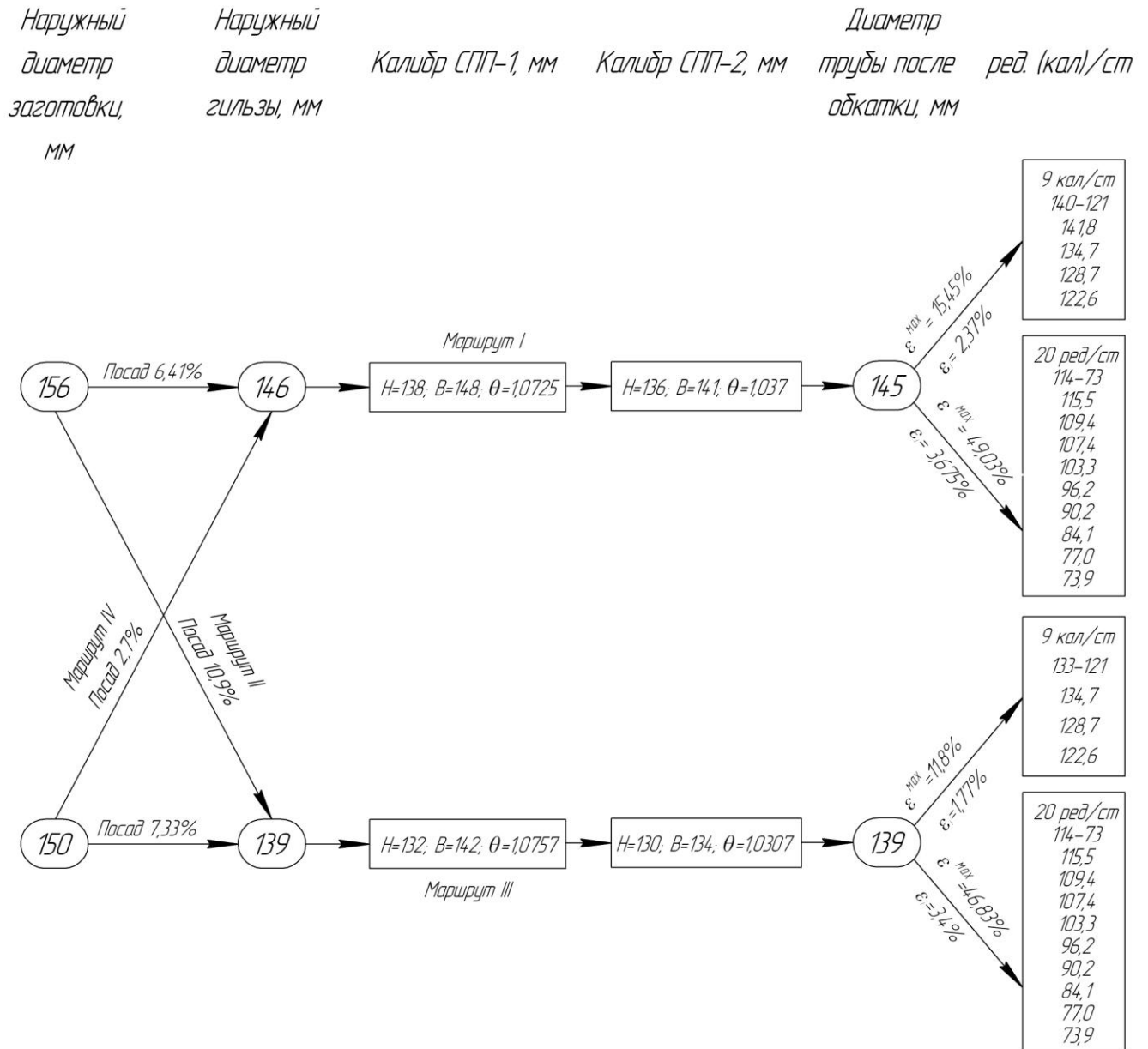


Рисунок 2.1 – Варианты технологии прокатки труб диаметром 73-114 мм из НЛЗ диаметром 156 (150) мм при условии модернизации РКС

– Маршрут III отличается от II только тем, что гильзу диаметром 139 мм прошивают из заготовки диаметром 150 мм («посад» 7,33%);

– Маршрут IV отличается от I тем, что гильзу диаметром 146 мм прошивают из заготовки диаметром 150 мм с минимальным «посадом» 2,7%.

Использование III и IV маршрутов определяется возможностью поставки НЛЗ диаметром 150 мм, однако эти поставки, в связи с унификацией размеров кристаллизаторов, с большой вероятностью могут быть прекращены, так как унифицированный размерный ряд кристаллизаторов МНЛЗ не включает размер 150 мм.

Маршрут II характеризуется наибольшим уменьшением диаметра гильзы. При его использовании для прокатки труб со стенкой менее 8,5 мм коэффициенты вытяжки при прошивке приближаются или превосходят величину 5,0. Эти факторы крайне неблагоприятны для качества гильз и, в конечном счёте, готовых труб. Выгода использования этого маршрута за счёт меньшего редуцирования труб при этом незначительна, так как частное обжатие при редуцировании составляет 3,4%, то есть незначительно отличается от частного обжатия по II маршруту 3,675%.

Из выше сказанного следует, что наиболее благоприятным для получения качественных труб является маршрут I.

При прошивке по этому маршруту величина уменьшения диаметра гильзы находится на приемлемом уровне, частные обжатия при калибровке труб составляют 2,37%, а при редуцировании – 3,675%, то есть их значения значительно ниже, чем обычно используемые (3,9-4,05%), например, на украинских ТПА – аналогах [27] ТПА-140 ОАО «ДТЗ» и фирмы «Интерпайп».

Однако для реализации прокатки труб наружным диаметром 73-114 мм из НЛЗ диаметром 156 мм по маршруту I придётся ввести новую систему калибров СПП 138/136 мм, а также поменять систему калибров 9-ти клетьевого калибровочного и 20-ти клетьевого редуционного станов.

Расчёт калибровок инструмента, таблицы прокатки и настройки станов по схеме I маршрута могут быть осуществлены по известным методикам и не составят больших затруднений, но организация переточки огромного парка

клетей редуционного и калибровочного станов будут связаны с определёнными трудностями.

В связи с изложенным, несмотря на кажущуюся простоту решения задачи по переходу на производство труб диаметрами 73-114 мм из НЛЗ диаметром 156 мм с использованием схемы по I маршруту, представленному на рисунке 2.1, этот вариант не приемлем. Потребность в больших капитальных вложениях связанных с реконструктивными мероприятиями по увеличению ширины бочек редуционно-калибровочного стана, заставляют искать другие пути решения поставленной задачи, которые будут связаны с минимальными капитальными затратами. Одним из таких решений является перераспределение деформации между станами ТПА-140 ОАО «СинТЗ», имеющими определенный резерв мощности и способными воспринять дополнительную нагрузку, связанную с деформацией труб по диаметру. Как было отмечено выше СПП и РКС таких резервов практически не имеют, однако, определенным запасом мощности обладают станы винтовой прокатки входящие в состав линии горячего передела ТПА-140 ОАО «СинТЗ» – двухвалковый прошивной и трехвалковый обкатной (рисунок 2.2).

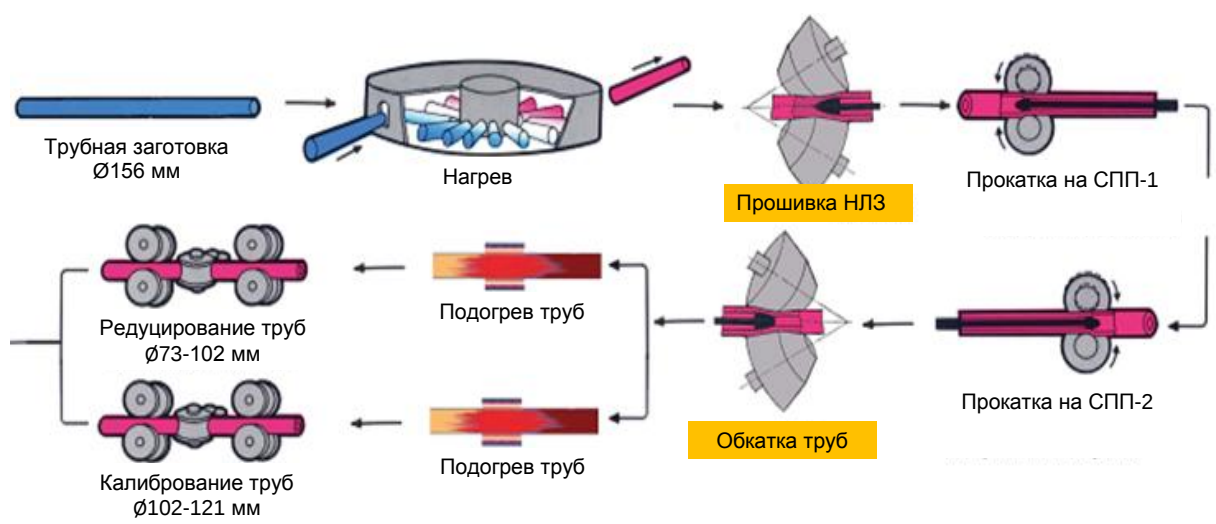


Рисунок 2.2 – Линия горячего передела ТПА-140 ОАО «СинТЗ» (цветом выделены станы винтовой прокатки)

2.2 Расчет усилий при прошивке заготовок на прошивном стане с грибовидными валками

Перераспределение деформации между станами ТПА-140 ОАО «СинТЗ» и увеличение деформации на станах винтовой прокатки возложит основную нагрузку на прошивной стан. Изменение технологии прошивки, связанное с использованием заготовки повышенного диаметра, требует проведения необходимых расчетов энергосиловых параметров процесса для оценки мощностных и прочностных возможностей оборудования прошивного стана, тем более, что результаты имеющихся работ убедительно показали существенный рост данных параметров при прошивке с уменьшением диаметра гильзы [19].

Энергосиловые параметры определяются путем сравнения характеристик прошивки наиболее энергоемкого сортамента гильз по действующей технологии (диаметр заготовки 156 мм, размер гильзы 160×10,6 мм) и предполагаемой (диаметр заготовки 156 мм, размер гильзы 140×10,6 мм). При этом толщина стенки гильзы 10,6 мм выбрана с учетом выполнения условия не превышения величины коэффициента вытяжки при прошивке, равного 5,0 для ведения процесса прошивки с уменьшением диаметра гильзы до 140 мм. Расчеты проводились применительно к прошивке заготовки из среднелегированной стали 09Г2С на угле подачи $\beta=13^\circ$.

Общее усилие прошивки P определяется по формуле [28]:

$$P = \sum_{i=0}^m p_i F_i + \sum_{j=0}^k p_j F_j ,$$

где: p_i – давление на части конуса прошивки до встречи с оправкой, МПа;

p_j – давление при раскатке на оправке, МПа;

F_i – площадь контактной поверхности на части конуса прошивки до встречи с оправкой, m^2 ;

F_j – площадь контактной поверхности при раскатке на оправке, m^2 .

Давления p_i и p_j в соответствии с источником [28]:

$$p_i = \left(1,25 \cdot \ln \left(2 \frac{r_x}{b_x} \right) + 1,25 \frac{b_x}{2 \cdot r_x} - 0,25 \right) \sigma_x,$$

$$p_j = \left(1,25 \cdot \ln \left(2 \frac{r_x}{b_x} \right) + 1,25 \frac{b_x}{2 \cdot r_x} - 0,25 \right) \sigma_x,$$

где: b_x – ширина контактной поверхности в рассматриваемом сечении, мм;

r_x – радиус заготовки в рассматриваемом сечении, мм;

σ_x – среднее значение сопротивления металла пластической деформации, в рассматриваемом сечении, определяемое по формуле Л.В. Андреюка, Г.Г. Тюленева [29], МПа:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot U_x^{k_u} \cdot (10 \cdot \varepsilon_x)^{k_\varepsilon} \cdot \left(\frac{T}{1000} \right)^{-k_t},$$

где: σ_0 – базовое значение сопротивления пластической деформации, МПа;

U_x – скорость деформации в рассматриваемом сечении, c^{-1} ;

ε_x – степень деформации в рассматриваемом сечении;

T – температура металла, $^{\circ}C$;

k_u, k_ε, k_t – термомеханические коэффициенты.

Площади F_i и F_j определяются по формулам:

$$F_i = \frac{b_{i-1} + b_i}{2} l_i,$$

$$F_j = \frac{b_{j-1} + b_j}{2} l_j,$$

где: l_i, l_j – длины контактных поверхностей на участках входного конуса до встречи с оправкой и раскатки на оправке соответственно, мм.

Ширина контактной поверхности в сечении до встречи с оправкой определяется по формуле [30]:

$$b_i = \sqrt{\frac{2 \cdot R_x \cdot r_x}{R_x + r_x} \cdot \Delta r_x},$$

а ширина контактной поверхности в сечении с раскаткой на оправке определяется из выражения:

$$b_j = \frac{(2r_{0x} + h_x) \sqrt{3r_{0x} \cdot (H_x - h_x)}}{2r_{0x} - 1,5(H_x - h_x)},$$

где: R_x – радиус валка в рассматриваемом сечении, мм;

Δr_x – величина обжатия в рассматриваемом сечении, мм;

h_x – толщина стенки гильзы в рассматриваемом сечении, мм;

H_x – толщина стенки гильзы, выходящая из предыдущего сечения, отстоящего от рассматриваемого на расстоянии одного полушага подачи, мм;

r_{0x} – радиус оправки в рассматриваемом сечении, мм.

Величина обжатия:

$$\Delta r_x = S_x \cdot \operatorname{tg}(\varphi_1),$$

где: S_x – полушаг подачи, мм;

φ_1 – угол конусности валка на входном участке, рад;

В свою очередь

$$S_x = \pi \cdot \frac{D_r}{2} \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \frac{\eta_o}{\eta_t} \cdot \frac{F_r}{F_x},$$

где: β – угол подачи, рад;

F_r – площадь поперечного сечения гильзы, м²;

F_x – площадь в рассматриваемом поперечном сечении, м²;

η_o – коэффициент осевого скольжения, $\eta_o=0,8$;

η_t – коэффициент тангенциального скольжения, $\eta_t=0,95$;

Скорость деформации до встречи с оправкой определяется по формуле:

$$U_x = \frac{V_x}{R_x \omega_{0x}^2} \cdot \left[\left(1 - \cos(\omega_{0x}) + \frac{r_{\psi x} - r_x}{R_x + r_x} \right) \right],$$

а при раскатке на оправке:

$$U_x = \frac{V_x}{(R_x + r_x) \cdot \omega_{0x}} \cdot \left[\frac{r_{\psi x} - r_x}{R_x} + \left(\frac{r_{0x}}{R_x} + 1 \right) \cdot \ln \left(\frac{r_{\psi x} + r_{0x}}{r_x - r_{0x}} \right) \right],$$

где: V_x – скорость валка в рассматриваемом сечении, м/с,

$$V_x = \frac{\pi \cdot R_x \cdot n}{30} \cdot \cos(\beta),$$

где: n – частота вращения валка, об/мин;

ω_{0x} – угол меридионального сечения валка, рад, $\omega_{0x} = \arcsin(b_x/R_x)$,

$r_{\psi x}$ – радиус-вектор заготовки, мм,

$$r_{\psi x} = \sqrt{2R_x \cdot (R_x + r_x)} \cdot \sqrt{\frac{R_x}{2(R_x + r_x)} + \frac{R_x + r_x}{2R_x} - \cos(\omega_{0x})}.$$

Степень деформации для участка прокатки сплошной заготовки:

$$\varepsilon_x = \frac{r_{\psi x} - r_x}{b_x},$$

а для участка раскатки на оправке:

$$\varepsilon_x = \ln \left(\frac{H_x}{h_x} \right),$$

Усилие, действующее на оправку (согласно экспериментальным данным [28]) для грибовидных валков определяется по формуле:

$$Q = (0,32 \dots 0,5) \cdot P.$$

Крутящий момент, необходимый для привода 2-х валков, рассчитывается по формуле:

$$M = P \cdot a_c + M_{oc},$$

где: a_c – плечо силы, мм;

M_{oc} – момент от действия осевых сил, Н×мм.

$$a_c = \frac{D_b + d_3}{4 \cdot r_{\Pi}} \bar{b},$$

$$M_{oc} = \frac{1}{2} Q \bar{R} \sin(\beta),$$

где: $\bar{b}$ – среднее значение контактной ширины, мм;

$\bar{R}$ – среднее значение радиуса валка в пределах очага деформации, мм.

Полная мощность прошивки для двух валков, Вт:

$$N = M \cdot \pi \cdot n,$$

Для расчета энергосиловых параметров процесса прошивки из заготовки диаметром 156 мм в гильзу диаметром 140 мм рассмотрена условная «классическая» калибровка валков и оправки прошивного стана.

На рисунке 2.3 представлены поясняющие схемы к расчету энергосиловых параметров процесса прошивки с «посадом» гильзы по диаметру и с «подъемом» гильзы по диаметру соответственно *а* и *б*.

Значения термомеханических коэффициентов представлены ниже [29]:

$$\sigma_0 = 84,246 \text{ МПа};$$

$$k_u = 0,27;$$

$$k_e = 0,1776;$$

$$k_t = 3,511.$$

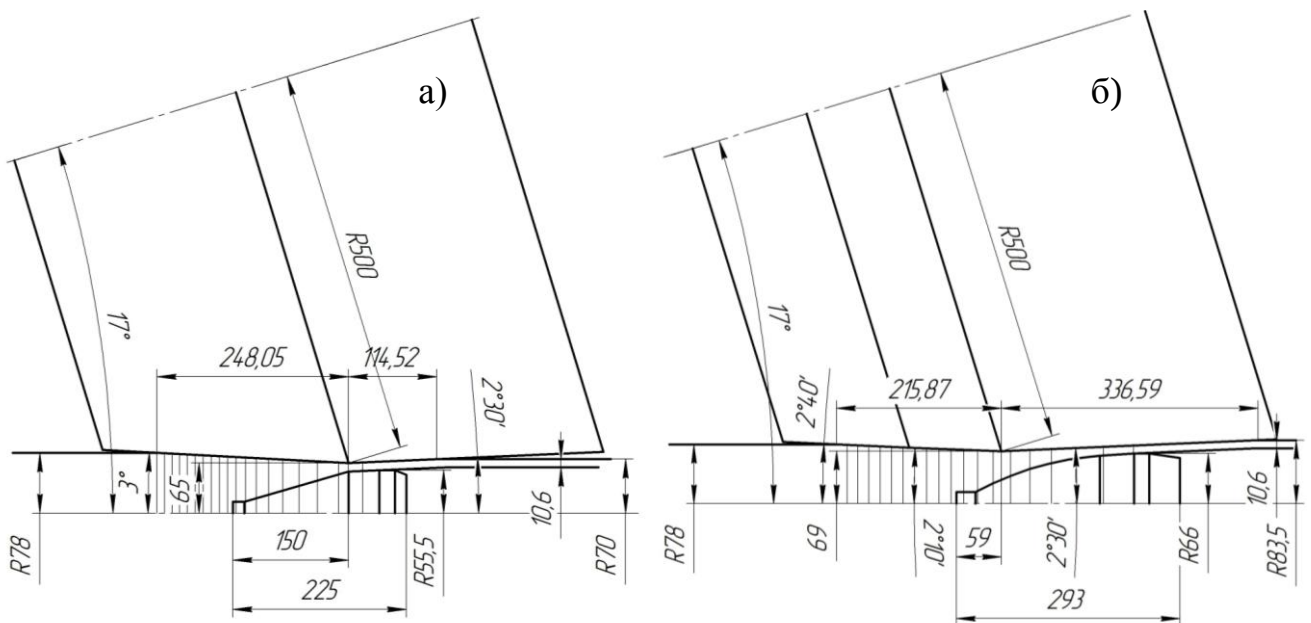


Рисунок 2.3 – Схемы очагов деформации ($\beta = 13^\circ$, $n = 80$ об/мин) для расчета энергосиловых параметров прошивки заготовок в гильзы размерами:

а) – $140 \times 10,6$ мм, б) – $167 \times 10,6$ мм

В таблицу 2.2, сведены настроечные параметры рассматриваемых случаев и результаты расчета энергосиловых параметров.

По результатам расчетов выходит, что при производстве гильз размером $140 \times 10,6$ мм уменьшается мощность процесса прошивки по сравнению с производством гильз размером $167 \times 10,6$ мм.

Таблица 2.2 – Настроечные параметры процесса прошивки, исходные данные и результаты расчета геометрических, деформационных и энергосиловых параметров при прошивке заготовки диаметром 156 мм в гильзы 140×10,6 и 167×10,6 из стали 09Г2С

Обозначение	Размер гильзы, мм		Обозначение	Размер гильзы, мм	
	140×10,6	167×10,6		140×10,6	167×10,6
$\frac{D_{\text{опр}}}{L_{\text{опр}}}, \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$	$\frac{111}{235}$	$\frac{132}{239}$	P, МН	2,4	3,9
r _п , мм	65	69	Q, МН	1,2	1,85
c, мм	150	59	a, мм	112,1	99
ε _п , %	16,7	11,5	$\bar{b}$, мм	25,2	23,7
ε _н , %	6,5	8,7	R _в , мм	450,5	482,28
β, °	13	13	M _{ос} , м·Н	60,2×10 ³	106,3×10 ³
n, об/мин	80	80	M, м·Н	326×10 ³	496×10 ³
T, °C	1210	1210	N _{2-х валков} , МВт	1,4	2,1
R _п , мм	500	500	N _{1-го вала} , МВт	0,7	1,05

Результаты расчета энергосиловых параметров процесса прошивки с «посадом» гильзы по диаметру подтверждают данные экспериментальных исследований одних авторов [24] и опровергают результаты исследований других авторов [19].

Так при проведении исследований по прошивке НЛЗ диаметром 156 мм в гильзу диаметром 120 мм с величиной «посада» 23% и обжатиями в пережиме в пределах 22,0-28,0%, при устойчивом протекании процесса в чашевидных валках, нагрузка на приводы стана находилась на том же уровне, что и нагрузка при прошивке заготовок диаметрами 120-130 мм и не превышала 35% максимально допустимой. Тот факт, что нагрузка на прошивной стан не превышала 35% от предельной, следует объяснять тем, что прошивку заготовки диаметром 156 мм осуществляли на стане с индивидуальными приводами на каждый валок, мощность которых рассчитана на прошивку заготовок диаметром до 230 мм из среднелегированных марок стали. Сравнительно низкий уровень нагрузки при столь высоком обжатии заготовки повышенного диаметра авторы обосновывают укороченным очагом деформации и, соответственно, малой контактной площадью металла с валками.

Противоположенные результаты были получены в рассмотренной ранее работе [19], согласно которой при прошивке заготовок в гильзы с «посадом» по диаметру 10,0-11,3% и обжатиями в пережиме 16,6%, нагрузка на привод повысилась с 20-25% до 40-45%. Такую разницу в нагрузках невозможно объяснить только тем, что во втором случае процесс прошивки осуществляли на прошивном стане с бочковидными валками, и с использованием катаной заготовки, в то время как в первом случае – с чашевидными валками, и с использованием непрерывнолитой заготовки.

При анализе экспериментальных данных по нагрузкам на приводы станов ориентироваться следует на показания работы [19], поскольку полученные в ней результаты систематизированы, представлены графически и подробно проанализированы.

Анализ расчетных и экспериментальных данных показывает слишком большие расхождения между ними. Действительно, в результате проведенного расчета энергосиловых параметров процесса прошивки, величина мощности прошивки, а, следовательно, и нагрузки на привод стана применительно к процессу прошивки на «посад» уменьшается в 1,5-1,8 раза относительно прошивки заготовки в гильзу с «подъемом» по диаметру; в действительности, согласно экспериментальным данным, нагрузка на привод стана, напротив, увеличивается.

Основной причиной такого несоответствия следует считать некорректность методики определения энергосиловых параметров применительно к процессу прошивки заготовок с «посадом» гильзы по диаметру.

Сущность используемой методики заключается в определении усилий металла и зависимости их от величины контактной площади металла с валками и оправкой по очагу деформации прошивного стана. При расчетах не учитывается действие линеек, которые для случая прошивки на «подъем» выполняют «поддерживающую» и «направляющую» функцию. Однако, при переходе процесса прошивки к схеме «размер в размер» и далее – на «посад» линейки, помимо роли направляющего и поддерживающего инструмента превращаются в

активно работающий инструмент трения, посредством которого в очаге деформации осуществляется работа формоизменения заготовки-гильзы, сопровождаемая интенсивным трением и выделением большого количества тепловой энергии. На заторможенных заготовках отчетливо проступает пятно контакта (или площадь контакта) с линейкой, которое увеличивается по мере повышения степени «посада» гильзы. По сути, в очаге деформации возникает дополнительная зона формоизменения и активного трения металла, для осуществления которых расходуется дополнительная мощность со стороны валков. При этом процесс прошивки с «посадом» может сопровождаться уменьшением длины контакта на выходном конусе вала и, следовательно, уменьшением площади контакта между валком и металлом заготовки-гильзы. Особенно характерна такая зависимость для процесса прошивки с «посадом» гильзы в чашевидных валках прошивного стана – вследствие более интенсивного уменьшения радиуса вала на участке выходного конуса. Закономерность подтверждается экспериментальными данными, полученными для прошивки с «глубоким посадом» гильзы в чашевидных валках, в которой показано, что «... укороченный очаг деформации позволил снизить энергосиловые параметры процесса прошивки» [25].

Таким образом, известные методики для определения энергосиловых параметров процесса прошивки корректны применительно для случаев прошивки заготовок с «подъемом» гильз по диаметру или, по крайней мере, для схемы прошивки «размер в размер». Расчетные данные, полученные при использовании методики, дают заниженные результаты для условий прошивки с «посадом» гильзы по диаметру, методика становится некорректной, т.к. не учитывает изменения, связанные с потерей мощности при интенсификации работы линеек.

Разработка новой методики для определения энергосиловых параметров прошивки, с «посадом» гильзы, учитывающей существенное изменение условий процесса в очаге деформации, связанное с изменением функции линеек, представляет целый ряд сложностей. В данном случае возникает необходимость

введения новой составляющей расчетов, связанной с определением эмпирических зависимостей для конкретных случаев процесса прошивки.

В источнике [73] предлагается другое решение задачи по определению энергосиловых параметров процесса прошивки, позволяющее при расчете учесть влияние направляющих линеек. Речь идет об использовании метода конечных элементов. Автором работы [73] был смоделирован процесс прошивки гильз с различными толщинами стенок и показано существенное отличие усилия на валок, от расчета по известным методикам [58, 59, 60, 62, 63, 65 и др.]. Существенное отличие наблюдается и в реальных условиях, поэтому данный метод может быть использован при оценке энергосиловых параметров для процесса прошивки с уменьшением диаметра гильзы.

В качестве программного продукта, использующего метод конечных элементов был выбран QForm 3D. На рисунке 2.4 представлены расчетные схемы для моделирования процесса прошивки с увеличением диаметра гильзы по действующей технологии и с уменьшением диаметра гильзы по предлагаемой технологии. Размеры заготовок, размеры получаемых гильз и режимы прошивки аналогичны тем, что использовались при аналитическом расчете энергосиловых параметров.

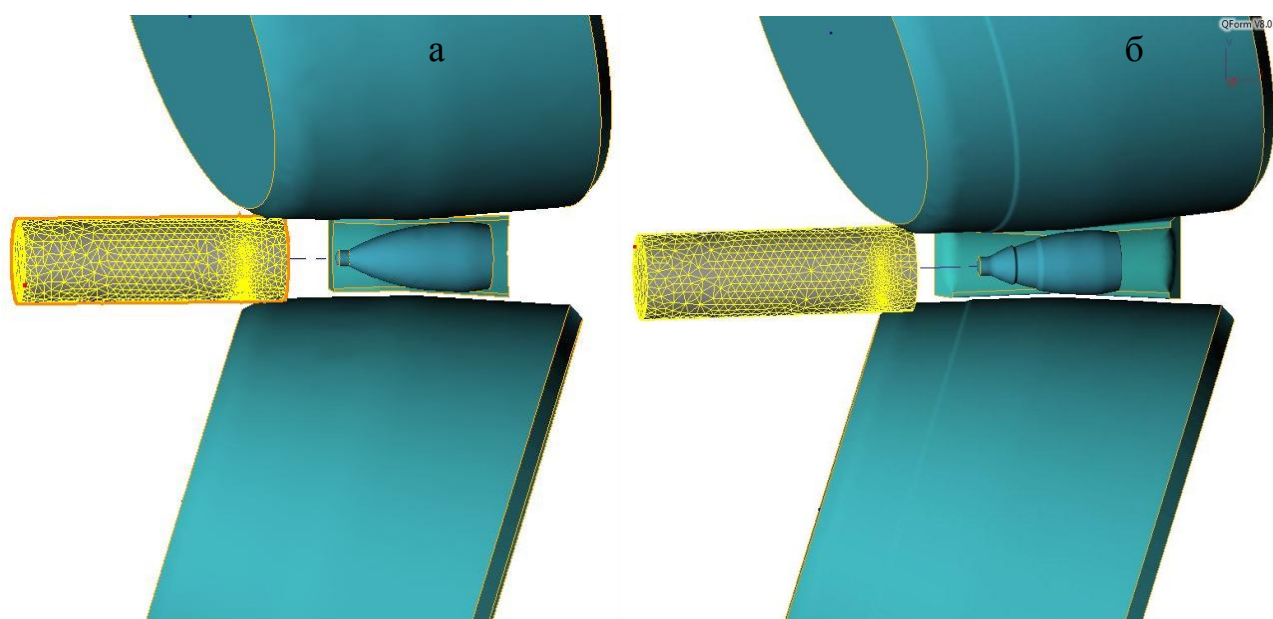


Рисунок 2.4 – Конечно-элементные модели прошивки: а – с увеличением диаметра гильзы; б – с уменьшение диаметра гильзы

Результаты расчетов усилий на валок представлены на рисунке 2.5

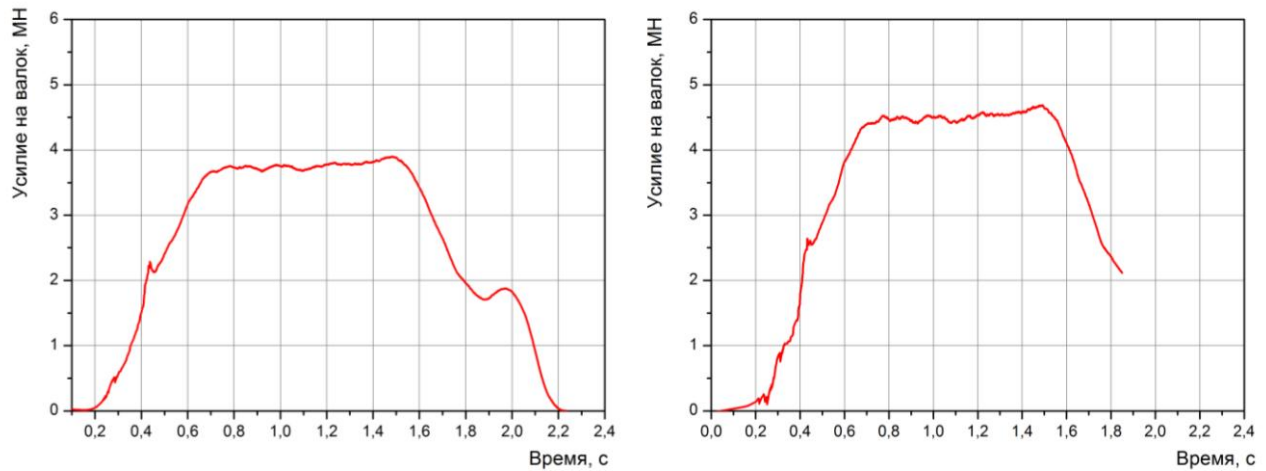


Рисунок 2.5 – Результаты расчета усилия на валок при прошивке: а – с увеличением диаметра гильзы; б – с уменьшением диаметра гильзы

На графиках (рисунок 2.5) в начальный момент прошивки (от 0 до 0,4 с) повышенное усилие на валок в обоих случаях объясняется действием толкателя. После временной отсечки в 0,4 с толкатель отключается, и процесс прошивки выходит на установившийся режим. Среднее усилие на валок в установившийся период прошивки для процесса с увеличением диаметра гильзы составляет 3,8 МН, что соответствует рассчитанному по аналитическим зависимостям значению. При этом среднее усилие на валок при прошивке с уменьшением диаметра гильзы составляет 4,5 МН, что на 18,% выше, чем при прошивке с увеличением диаметра гильзы. Таким образом, компьютерное моделирование подтверждает результаты, полученные экспериментально в работе [19], в которой при прошивке заготовок диаметром 100 мм в гильзу диаметром 90 мм прирост нагрузки на привод составил 20-25%. При этом интенсивность нарастания нагрузки с увеличением диаметра заготовки уменьшается, так как у заготовок большего диаметра степень «укова» меньше.

Принимая во внимание результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования, а так же особенность, заключающуюся в использовании для прошивки НЛЗ диаметром 156 мм, и величину «посада»

гильзы в пределах 11,0%, при прогнозировании изменения энергосиловых параметров для случаев прошивки заготовок с уменьшением диаметра гильзы следует ожидать повышение энергосиловых характеристик процесса не более чем на 15,0-20,0%, что допустимо для действующего на ОАО «СинТЗ» прошивного стана.

2.3 Анализ особенностей прошивки непрерывнолитой заготовки

Как уже было отмечено, основным и обязательным условием изготовления гильзы с уменьшением диаметра является необходимость вести процесс прошивки с высоким обжатием в пережиме валков, вплоть до 28% [24]. Ведение процесса прошивки применительно к катаной заготовке с подобными высокими обжатиями характеризуется рядом негативных явлений: увеличением энергосиловых параметров процесса, образованием осевых разрушений в заготовке, повышенным износом прокатного инструмента, в первую очередь неподвижных линеек, и ухудшением качества поверхности гильз.

Если принять во внимание необходимость использования НЛЗ для производства труб, то действие перечисленных негативных явлений должно уменьшиться. В практике трубного производства использование НЛЗ в косовалковых прошивных станах подтверждает сложившееся представление о ее высоких технологических возможностях, и в настоящее время технология прошивки таких заготовок успешно заняла лидирующие позиции, как за рубежом, так и на отечественных ТПА.

Действительно, качественные показатели труб, прокатанных из непрерывнолитых заготовок, практически ничем не уступают, а по некоторым позициям (дефекты внутренней поверхности гильз) превосходят качество труб, произведенных из катаных заготовок. Как показала практика работы последних лет, НЛЗ, несмотря на пониженную пластичность, можно прошивать в косовалковом стане с высокими обжатиями без заметного ухудшения качества внутренней поверхности гильзы, и значительного повышения энергосиловых

характеристик процесса [22, 24]. Отмеченные свойства непрерывнолитой заготовки применительно к процессу винтовой прошивки можно объяснить действием следующих факторов:

- большей, чем у катаной заготовки чистотой осевой зоны по неметаллическим включениям;
- структурным строением поперечного сечения НЛЗ, отличающимся от катаной заготовки, уменьшающейся в направлении к оси микро и макроплотностью, отсутствием «укова».

По отношению к катаной заготовке, получившей в ходе деформационной проработки на блюминге и заготовочном стане определенные «уков» и плотность, непрерывнолитая заготовка имеет непроработанную, рыхлую, выраженную ликвационную структуру, с наличием большого количества макро и микропустот, пористости, часто сливающихся в моноотверстие размером 5-10 мм в центральной зоне заготовки. Наличие такой структуры, особенно, ликвационной неоднородности, нередко накладывает нежелательные последствия на служебные качества труб, поскольку остатки непроработанной структуры все-таки сохраняются и фиксируются после многочисленных деформационных операций горячего передела.

Убедительным подтверждением наличия отмеченных особенностей НЛЗ является непропорционально малый рост нагрузки в процессе ее прошивки на привод прошивного стана. Согласно данным работы [24] в процессе прошивки непрерывнолитой заготовки диаметром 156 мм с обжатию 28% величина нагрузки на привод находилась на уровне нагрузок при прошивке заготовок диаметрами 120-130 мм.

Механизм образования разрушения центральной зоны заготовки рассмотрен на примере осадки круглого поперечного сечения плотной, имеющей «уков», катаной заготовки (рисунок 2.6 а и б) и менее плотной с выраженной литой непроработанной структурой, с возрастающей макро и микро пористостью к центру, НЛЗ (рисунок 2.6 в и г). Отмечается существенная разница в механизме

взаимодействия клиновых зон с затрудненной деформацией «А» с недеформируемым объемом «В».

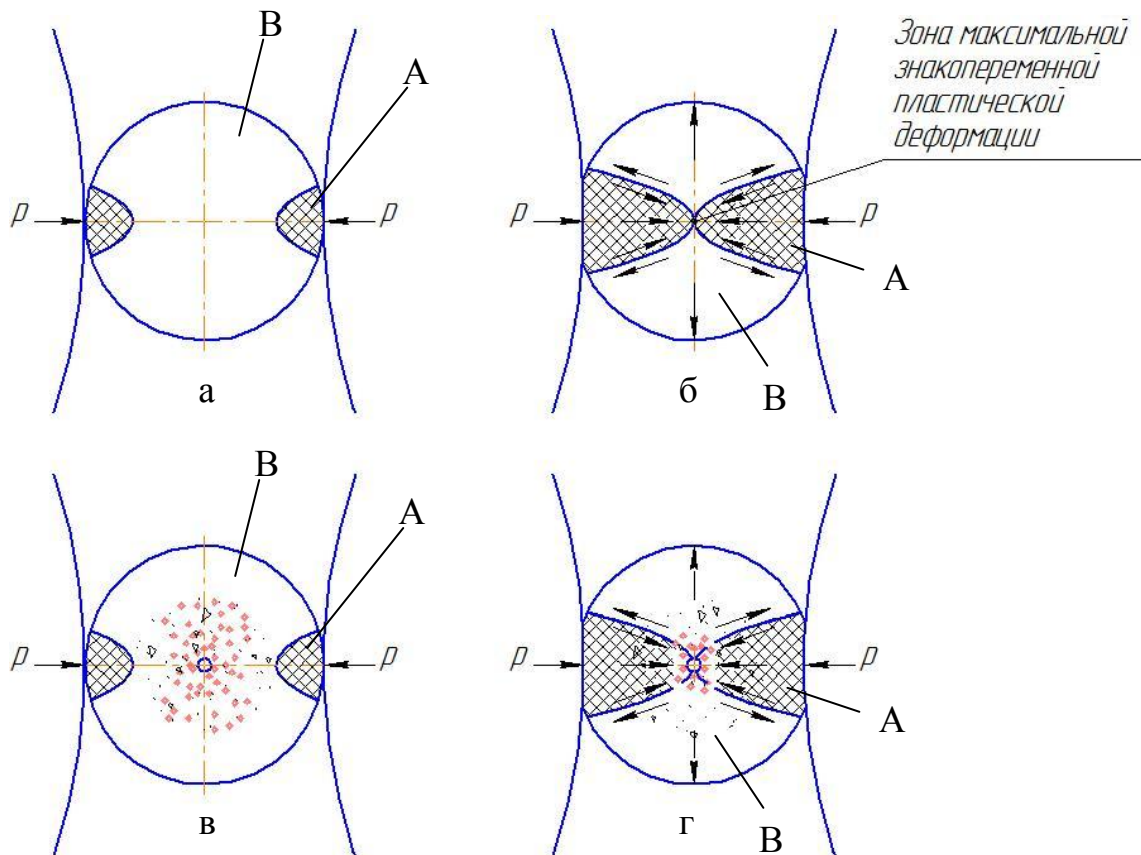


Рисунок 2.6 – Схема деформации заготовок: а – начальная стадия деформирования катаной заготовки, б – стадия достижения деформацией центра катаной заготовки, при которой вступает в действие механизм разрушения осевой зоны; в – начальная стадия деформирования НЛЗ, г – стадия деформации НЛЗ, при которой у катаной заготовки происходит разрушение осевой зоны

При осадке тела круглого сечения плоскими плитами в осаживаемом теле возникают зоны затрудненной пластической деформации «А», которые по мере возрастания обжатия движутся навстречу друг другу и достигают центра при обжатий 0,8%-1,0%. При этом процесс характеризуется интенсивным расклинивающим воздействием этих зон на внеконтактный объем «В». По границам этого воздействия, вследствие разнонаправленного течения металла, возникает зона пластической деформации интенсивность, которой возрастает и сосредоточивается в центре сечения. В центральной зоне при этом возникают

большие растягивающие напряжения. При вращении заготовки в ее центральной зоне происходит знакопеременная интенсивная пластическая деформация, следствием которой являются наклеп «металла» и разрушение осевой зоны заготовки, так называемый эффект Маннесмана (рисунок 2.7).

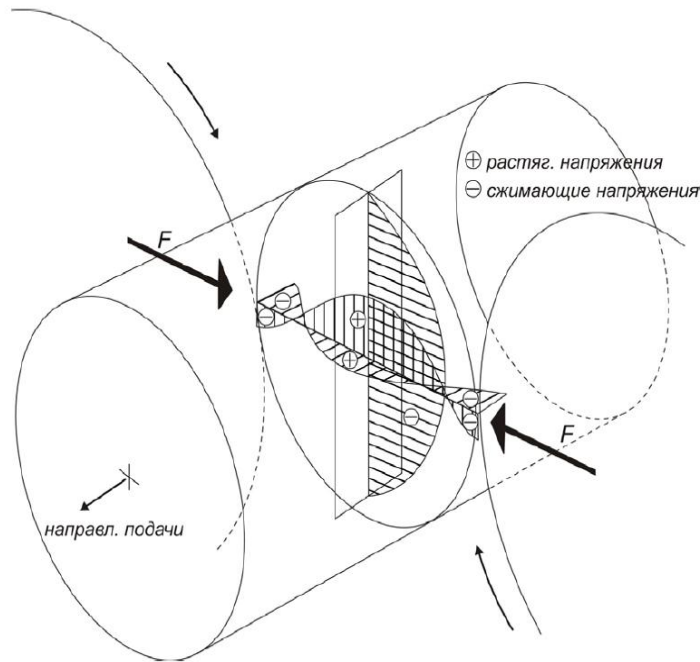


Рисунок 2.7 – Распределение напряжений при винтовой прокатке [50, 51]

Сравнение схем деформирования катаной и непрерывнолитой заготовок свидетельствует, что достижение клиновыми зонами «А» центра поперечного сечения, и, следовательно, начала образования осевого разрушения, должно происходить при прочих равных условиях тем быстрее, чем более жесткими являются клиновые зоны «А». В данном случае предельного состояния система, представляющая взаимодействие зон «А» и «В», достигает быстрее у катаной заготовки, имеющей большую плотность и «уков», и, следовательно, более жесткие клинья «А». В свою очередь для менее плотной непрерывнолитой заготовки, имеющей разрыхленную центральную зону, часть деформации затрачивается на дробление литой структуры, устранение макро и микропустот и достижения необходимой жесткости клиньев «А», приводящей к предельному состоянию – началу образования центрального разрушения.

Таким образом, показательно, что одним из положительных свойств НЛЗ применительно к процессу винтовой прошивки является способность ее к деформированию с более высокими обжатиями без образования дефектов на поверхности гильз и труб, при условии наличия оправки в очаге деформации, создающей подпирание усилия и препятствующей преждевременному вскрытию осевой полости.

Действительно, процесс винтовой прошивки характеризуется сложным напряженно-деформированным состоянием, для изучения которого в работе [49] было проведено компьютерное моделирование процесса винтовой прокатки. Моделирование осуществлялось с применением программы QForm 3D (рисунок 2.8).

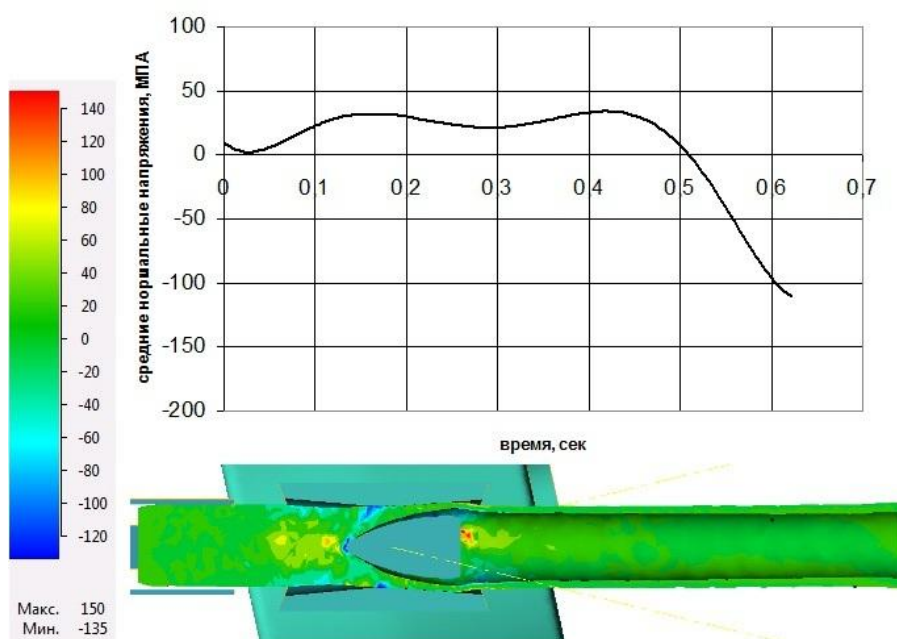


Рисунок 2.8 – Изменение напряженно-деформированного состояния металла заготовки при прошивке

Из рисунка 2.8 видно, что средние нормальные растягивающие напряжения за оборот заготовки имеют циклический характер, а так же перед носком оправки имеют место сжимающие напряжения. Общеизвестно [30, 41, 48], что наличие подпирания сил со стороны оправки резко уменьшает осевые растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки в очаге деформации, что способствует

увеличению прошиваемости заготовки и уменьшает или «заваривает» вскрытие осевой зоны металла [49].

Эта особенность может стать ключевой, при разработке технологии прошивки заготовки с уменьшением диаметра гильзы.

2.4 Создание новой схемы деформирования на прошивном стане

Известны попытки разработки и реализации технологии прошивки с увеличением общего обжатия в пережиме валков [24]. Данная технология прошивки осуществлялась при использовании чашевидных валков на повышенном угле конусности очага деформации ($4-8^\circ$) и относительно высоком угле подачи (больше 12°).

Но при повышенном значении угла входного конуса очага деформации увеличивается лобовое сопротивление собственно валков, что ухудшает условия вращения и осевого втягивания заготовки, и затрудняет перемещение ее в осевом направлении. При этом, на контактной поверхности валков с прошиваемым металлом возникает повышенное скольжение, приводящее к уменьшению шага подачи в период заполнения очага деформации и, соответственно, увеличению цикличности процесса, а, главное, к дестабилизации первичного и вторичного захватов. Особенность эта характерна для прошивных станов с грибовидными валками, у которых условия первичного захвата являются самыми неблагоприятными из всех типов станов. Наилучшие условия первичного захвата обеспечиваются на прошивных станах с валками, имеющими чашевидную форму. Поэтому процесс прошивки с уменьшением диаметра гильзы был реализован на прошивном стане с чашевидными валками на ТПА 50-200 ОАО «ВТЗ». Но даже при прошивке с использованием чашевидных валков условия первичного захвата после проката 200-220 т были нарушены (вследствие износа «насечки» на передней части входного конуса валков), тянущая способность валков была исчерпана, и потребовалась преждевременная их замена, в то время как кампания работы валков рассчитана на прокат 4500-5000 т.

Кроме того, высокий угол конусности очага деформации в конусе прошивки требует также уменьшения рабочей длины оправки, что приводит к более интенсивному сужению калибра, образованного валками, оправкой и линейками, и повышенной деформации заготовки на оправке. А это в свою очередь способствует развитию поперечной деформации заготовки-гильзы, интенсификации обжатия за счет нарастания внеконтактной деформации и, в конечном итоге, увеличению сопротивления осевому перемещению заготовки, как со стороны направляющих линеек, так и со стороны оправки. Согласно результатам проката средняя стойкость линеек составила 132 прохода, то есть сократилась в 5-7 раз. Кроме того, имели место остановки стана, связанные с необходимостью зачистки и шлифовки поверхности линеек от налипшего металла.

Таким образом, при попытке реализовать технологию прошивки НЛЗ с повышенным обжатием в пережиме (до 28%) столкнулись с необходимостью решения проблем, связанных с дестабилизацией первичного захвата из-за относительно высокого угла входного участка вала, а также низкой стойкостью линеек.

В дальнейшей работе были сделаны попытки решить проблему повышения стойкости линеек путем создания и использования конструкции «водоохлаждаемой» линейки [26]. Однако, к настоящему времени новая информация, касающихся успешного использования и работы таких линеек, отсутствует.

С целью обеспечения благоприятных условий первичного и вторичного захватов при повышенных обжатиях заготовки в практике трубопрокатного производства широко используются так называемые двухконусные или ступенчатые калибровки. Входной участок таких валков выполняют комбинированным, состоящим из двух конусных участков: первого – для осуществления стабильного первичного захвата с малым значением конусности (1° - $3,5^{\circ}$) и второго – обжимного, с повышенным углом конусности ($3,5^{\circ}$ - 7°) [3].

Данные калибровки нашли широкое использование в прошивных косовалковых станах с короткой бочкой валка, на которых недостаточная протяженность входного участка валка компенсировалась повышенным углом конусности «обжимного» участка. Калибровки хорошо зарекомендовали себя при использовании катаной заготовки, процесс прошивки которой характеризуется относительно невысокими обжатиями в пережиме, до 15%, и удовлетворительной стойкостью линеек.

В связи с широким использованием «двухконусных» калибровок на прошивных станах малых и средних ТПА представляет интерес рассмотреть ее использование применительно к процессу прошивки с повышенными, свыше 23%, обжатиями по пережиму и спрогнозировать уровень стойкости линеек по отношению к процессу прошивки с использованием «одноконусной» калибровки.

Известно, что стойкость линеек зависит от степени овальности заготовки-гильзы, приобретаемой в процессе ее формоизменения в очаге деформации прошивного стана. Изменение овальности поперечного сечения заготовки имеет синусоидальный характер с размещением вершины купола, соответствующей области пережима валков.

На рисунке 2.9 (кривая 1) – показан характер изменения овальности гильзы при прошивке заготовки с использованием «классической» одноконусной калибровки валков прошивного стана [30]. Синусоидальный характер нарастания овальности заготовки-гильзы приобретается в результате поциклового развития и накопления внеконтактной поперечной деформации, а также расклинивающего действия оправки. С аналогичной закономерностью происходит и износ направляющих линеек. Максимальный износ линеек, наблюдается, как правило, на участке очага деформации, соответствующем пережиму валков. Следует также отметить, что развитие внеконтактной поперечной деформации происходит тем интенсивнее, чем выше степень тонкостенности деформируемого участка гильзы.

Таким образом, следует отметить что, использование двухступенчатой калибровки валков прошивного стана, теряет эффективность для процесса с повышенными обжатиями (до 23%) по причине интенсификации износа

направляющего инструмента трения в зоне, соответствующей пережиму валков (рисунок 2.9 кривая 2). Данное утверждение так же подтверждается результатами проведенных в 2012 г. на ОАО «СинТЗ» опытных прокаток труб размером $114 \times 12,0$ мм и $114 \times 5,0$ мм из НЛЗ диаметром 156 мм.

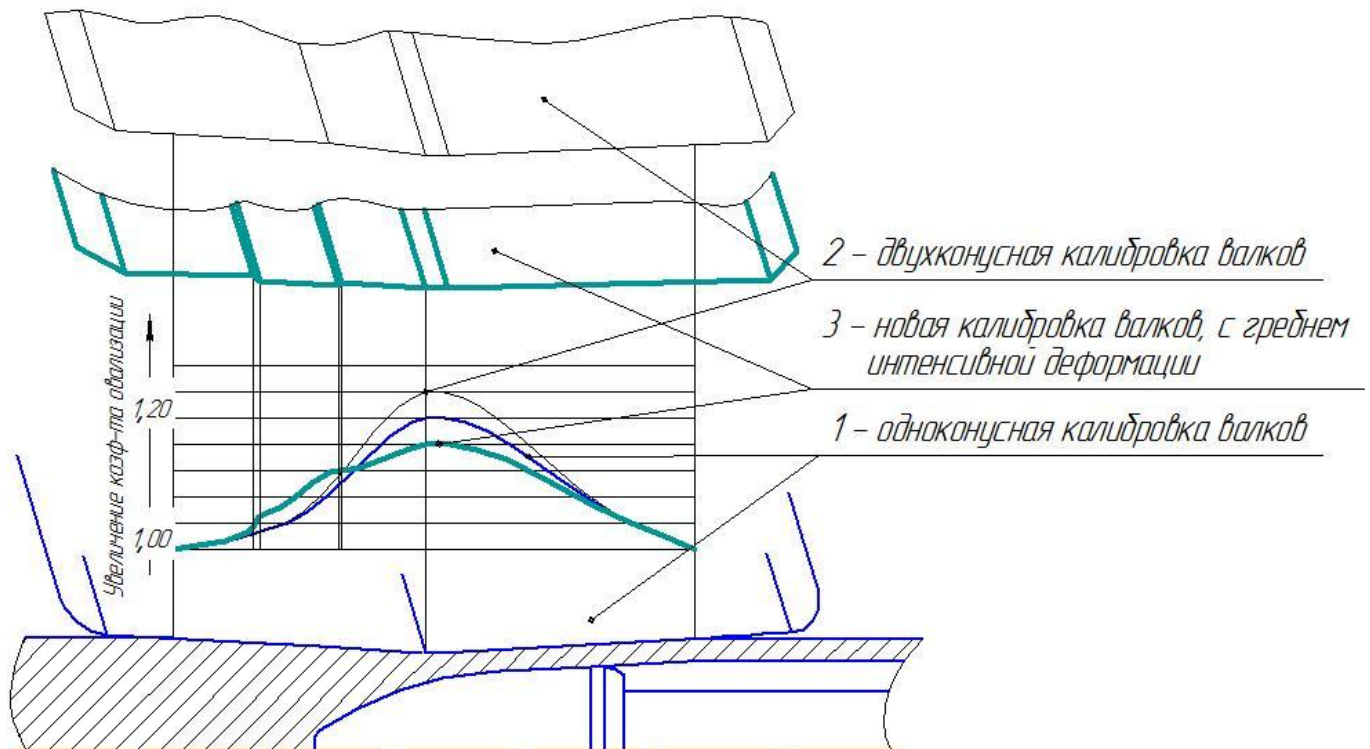


Рисунок 2.9 – Эпюры овальности поперечного сечения заготовки-гильзы при прошивке с уменьшением диаметра гильзы

На рисунке 2.10 показана фотография направляющих линеек до проведения опытной прокатки, на рисунке 2.11 – после прокатки 42 труб из стали марки Д-8. Как видно из рисунков, на линейках при прошивке с уменьшением диаметра гильзы с использованием ступенчатой калибровки валков уже после прошивки всего 42-х заготовок наблюдается повышенный износ в районе пережима валков, сетка разгара и «вырывы» материала линейки.



Рисунок 2.10 – Линейки прошивного стана до проведения опытных прошивок с использованием ступенчатой калибровки валков



а



б



в



г

Рисунок 2.11 – Линейки прошивного стана после проведения 42 опытных прошивок с использованием ступенчатой калибровки валков:

а – верхняя линейка, б – износ верхней линейки в районе пережима валков,
в – нижняя линейка, г – износ нижней линейки в районе пережима валков

На основе анализа изменения кривых 1 и 2 (рисунок 2.9) предложены технические решения, направленные на снижение деформации, и, следовательно, овальности поперечного сечения в области пережима валков. Интенсификация деформации заготовки на переднем малозагруженном участке входного конуса валков и линеек посредством акцентированного увеличения обжатия, в процессе которого заготовка получит дробление литой структуры, интенсивное уплотнение за счет устранения пористости и микропустот с некоторым увеличением овальности заготовки-гильзы и, напротив, минимизация величины обжатия на тыловом участке входного конуса очага деформации, примыкающего к пережиму, позволит снизить уровень накопленной внеконтактной деформации и уменьшить овальность поперечного сечения гильзы на данном участке (рисунок 2.9 кривая 3), а так же нормализовать работу направляющих линеек.

Предложенная схема деформирования заготовки в конусе прошивки противоположна схеме, заложенной механизмом деформирования в двухконусной калибровке, и базируется на осуществлении принципа дробности деформации, более равномерного ее распределения по участку входного конуса, что позволит обеспечить снижение энергоемкости процесса прошивки и уменьшить износ линеек.

2.5 Разработка технических решений, направленных на совершенствование процесса прошивки

Очаг деформации прошивного стана, построенный в соответствии с предложенной выше принципиальной схемой деформации, изображен на рисунке 2.12. На валке размещены последовательно следующие участки: I – «захватной», II – гребень интенсивной деформации, III – кольцевой выступ, IV – обратный конус, V – зона отдыха, VI – пережим, VII – раскатной участок.

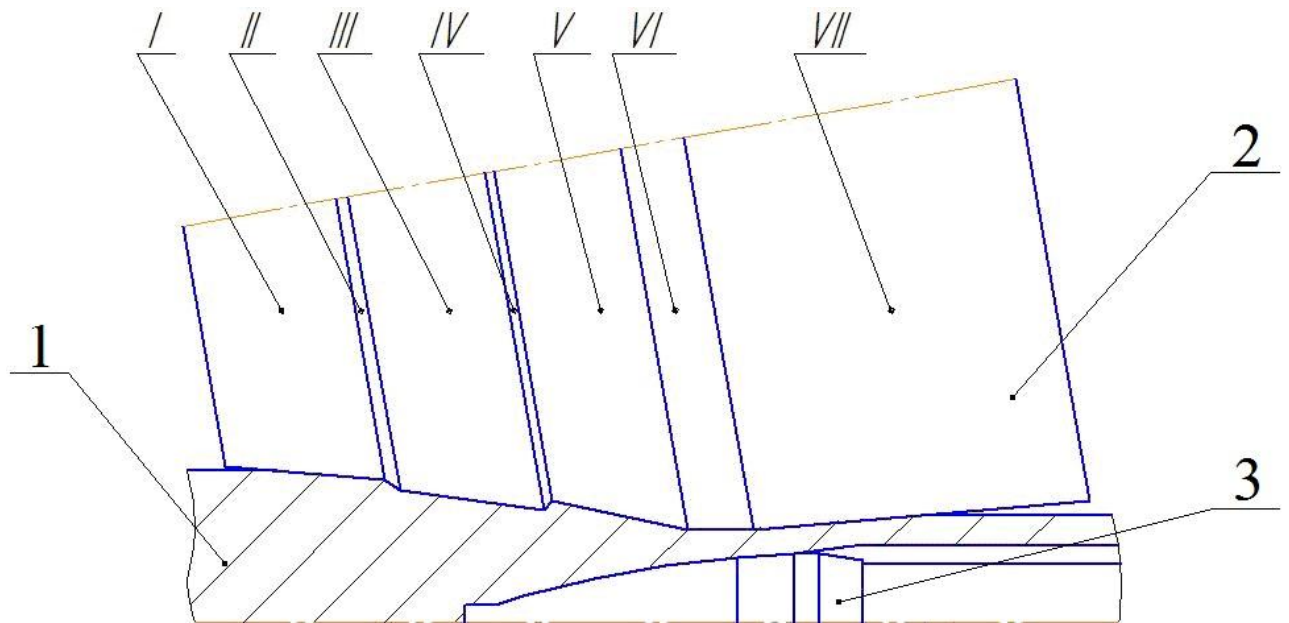


Рисунок 2.12 – Схема очага деформации для прошивки заготовки повышенного диаметра и расположение функциональных участков на валке прошивного стана:

1 – прошиваемая заготовка; 2 – валок; 3 – оправка

Участок I предназначен для осуществления стабильного первичного захвата заготовки и создания необходимого резерва втягивающих сил трения, достаточных для ведения последующих этапов процесса прошивки. Выполняется с малым углом образующей конусности $\varphi_1 \approx 2,5^\circ$ (с учетом перекоса валков на угол раскатки α и угол подачи β). Длина захватного участка соответствует 1-2 шагам подачи заготовки за полуоборот, и достаточна для преодоления лобового сопротивления последующего участка.

Участок II выполняется для создания акцентированного повышенного обжатия. Известно, что процесс деформации заготовки с использованием гребневой калибровки валков характеризуется снижением нагрузки на привод прошивного стана до 20% и уменьшением крутящего момента прошивки до 10% [36], что играет существенную роль для освоения технологии прошивки заготовок повышенного диаметра. Угол конусности гребня φ_2 составляет примерно 30° . При большем значении угла конусности гребня возможны порезы гильзы, а при меньшем значении угла «гребень интенсивной деформации» теряет свою функцию – обеспечение акцентированного повышенного обжатия без

существенного развития поперечной деформации. Высота гребня выбирается из условия осуществления акцентированного обжатия заготовки по диаметру на ~5%.

Участок III предназначен для продолжения деформирования заготовки с повышенным обжатием и уплотнения ее структуры. Для увеличения деформации угол образующей кольцевого выступа больше угла образующей захватного участка. Длина участка кольцевого выступа должна соответствовать, как минимум, двум шагам подачи за полуоборот заготовки. Выполнение данного условия определяется необходимостью осуществления стабильного вторичного захвата и преодоления лобового сопротивления со стороны рабочего конуса оправки.

На оправочном участке прошивки в процессе контакта заготовки с рабочим конусом оправки, вследствие возрастающего лобового сопротивления последней и увеличивающегося скольжения происходит более интенсивное увеличение и поцикловое накопление поперечной внеконтактной деформации.

С целью снижения уровня внеконтактной поперечной деформации, а также минимизации ее развития на оставшемся до пережима участке V, размещена так называемая зона «отдыха», которая сопряжена с участком «кольцевого выступа» коротким участком обратного конуса IV. Высота обратного конуса должна быть меньше высоты гребня интенсивного обжатия. На участке зоны «отдыха» V происходит ступенчатое уменьшение накопленной внеконтактной деформации. Протяженность участка зоны «отдыха» составляет около 1 шага подачи за полуоборот заготовки и достаточна для снижения овальности поперечного сечения гильзы и, следовательно, уменьшения износа линеек.

Другим вариантом, обеспечивающим минимизацию обжатия гильзы по стенке на данном участке очага деформации, является выполнение кольцевой выточки на соответствующем участке рабочего конуса оправки при сохранении участка вала неизменным, то есть выполненным без обратного конуса (рисунок 2.13).

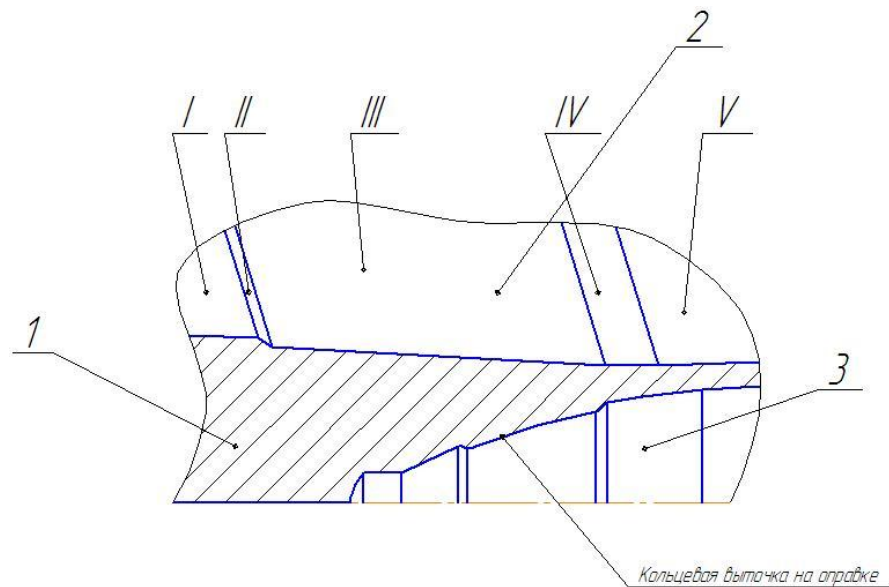


Рисунок 2.13 – Схема очага деформации для прошивки заготовки повышенного диаметра и расположение функциональных участков на валке прошивного стана: 1 – прошиваемая заготовка; 2 – валок, включающий участки: I – «захватной»; II – гребень интенсивной деформации; III – «обжимной выступ»; IV – пережим; V – раскатной; 3 – оправка

Данный вариант предпочтительнее, так как обеспечивает максимальный баланс активных тянущих сил трения в очаге деформации, передаваемых заготовке со стороны валков, при одновременном уменьшении активных сил лобового сопротивления со стороны оправки, что в конечном итоге должно увеличить коэффициент осевой скорости гильзы. Кроме того, уменьшается износ валков прошивного стана, поскольку физический износ переносится на оправку, которая подвергается замене многократно чаще, чем валки.

Разработанные, на основе данного принципа калибровки прокатного инструмента прошивного стана опробованы в условиях производства опытных партии гильз и труб на ТПА-140 ОАО «СинТЗ» и ТПА 159-426 ОАО «ВТЗ», показали свою эффективность при ведении процесса прошивки с уменьшением диаметра гильзы, что подтверждается актами проведения опытно-промышленных исследований, в которых отмечается, что получены гильзы требуемой геометрической точности и размеров, удовлетворительного качества, стойкость прокатного инструмента прошивного стана (валков и линеек) при этом

удовлетворительная, стойкость оправок повысилась в более чем 2 раза. На оправку прошивного стана новой конструкции получен патент Российской Федерации [54].

2.6 Математическая модель и алгоритм расчета настроечных параметров при прошивке

Определение настроечных параметров для прошивки на стане поперечно-винтовой прокатки является комплексной задачей, решением которой занимались многие ученые [74-78 др.]. Сложность данной задачи заключается в необходимости одновременно учитывать несколько зависящих друг от друга параметров, таких как: расстояние между валками, выдвижение оправки, угол разворота валков (угол раскатки и угол подачи), расстояние между линейками (дисками Дишера). Упрощенно эта задача решается без учета разворота валков на угол подачи, но такое допущение не дает значительной погрешности лишь при небольших углах подачи (до 10°). Как отмечалось выше, современные тенденции таковы, что процесс прошивки ведется на повышенных скоростях и углах подачи, позволяющих получить более качественные гильзы и увеличить производительность стана. В этих условиях искажение очага деформации в зависимости от значения угла подачи значительно и пренебрегать разворотом валков на угол подачи нельзя.

В научно-технической литературе вопросы, связанные с искажением очага деформации в зависимости от разворота валков на угол подачи и методы расчета настроечных параметров прошивного стана в зависимости от изменения угла подачи, освещены мало. Поэтому в рамках данного исследования требуется создание математической модели, позволяющей учитывать искажение очага деформации прошивного стана в зависимости от разворота валков на угол подачи, для обеспечения точной настройки прошивного стана во время опытных прокаток и получения требуемой геометрии гильз, тем более, что согласно разработанной технологии угол подачи валков прошивного стана составляет 12° .

Общеизвестно, что с увеличением угла подачи длина очага деформации уменьшается, изменяется обжатие перед носком оправки, смещается область входа гильзы в очаг деформации и выхода гильзы из него и, как следствие, изменяются наружный диаметр и получаемая толщина стенки гильзы. Такие искажения требуют корректировки положения оправки в очаге деформации. Из вышесказанного следует, что от угла подачи при его значительной величине (более 10°) зависит целый комплекс параметров, необходимых для получения гильзы высокого качества.

Известно, что кратчайшее расстояние от оси прошивки до вала r_x в любом сечении очага деформации определяется выражением [30]:

$$r_x = B' - R', \quad (2.1)$$

где R' и B' – радиус вала и расстояние между осями заготовки и вала в плоскости, перпендикулярной оси вала и отсекающей на оси абсцисс (оси прошивки) отрезок равный x , при этом

$$B' = \sqrt{(R_x + r_x)^2 + x^2 \cdot \sin^2 \beta},$$

где x – это расстояние от оси поворота до произвольного сечения очага деформации, в котором кратчайшее расстояние до вала равно r_x ,

R_x – кратчайшее расстояние от оси вала до заготовки в произвольном сечении.

Учитывая, что радиус вала в рассматриваемой плоскости определяется как:

$$R' = R_x \pm x \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

после подстановки B и R' в (2.1) выражение для r_x записывается следующим образом:

$$r_x = \sqrt{(R_x + r_x)^2 + x^2 \cdot \sin^2 \beta} - R_x \mp x \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.2)$$

Приведенные выше зависимости справедливы для случая, когда ось поворота валков на угол подачи проходит через произвольное сечение вала в конусе раскатки или в пережиме.

Кратчайшее расстояние от оси вала до заготовки в произвольном сечении определяется по формуле:

$$R_x = R_n - m \cdot \operatorname{tg} \alpha_2,$$

где R_n – расстояние от оси валка до заготовки в пережиме (рисунок 2.14),

m – расстояние от конца пережима валка до оси поворота его на угол подачи (рисунок 2.14).

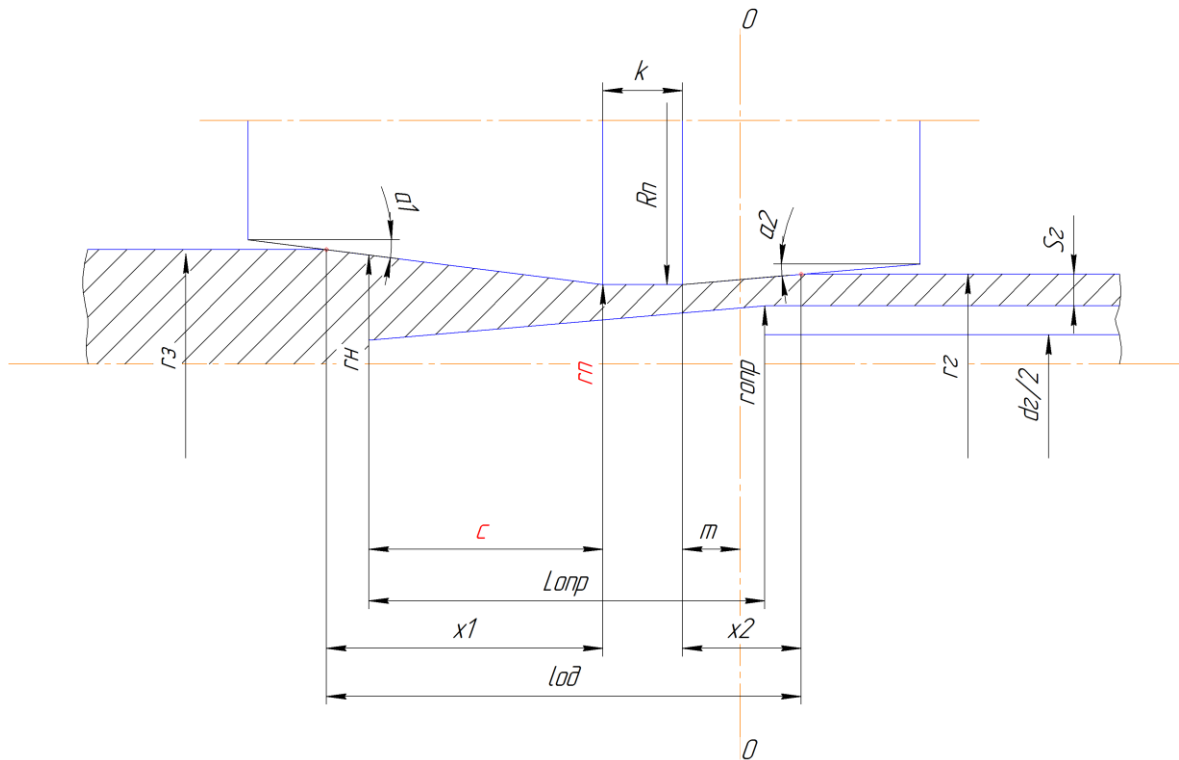


Рисунок 2.14 – Схема очага деформации прошивного стана: r_2 – радиус гильзы, мм; S_2 – толщина стенки гильзы, мм; r_3 – радиус заготовки, мм; r_n – радиус в пережиме, мм; c – выдвижение оправки за пережим, мм; r_n – радиус перед носком оправки, мм; $L_{опр}$ – рабочая длина оправки, мм; $r_{опр}$ – радиус оправки, мм; k – длина цилиндрической части валка (пережима), мм; $l_{од}$ – длина очага деформации, мм; α_1 – угол конуса входной части валка, град; α_2 – угол конуса выходной части валка; m – расстояние от пережима до оси поворота валков, мм.

По сути, решение уравнения 2.2 позволяет математически описать очаг деформации прошивного стана, учитывая его искажение от разворота валков на угол подачи и вывести зависимости между настроечными параметрами очага деформации. Данная методика определения настроечных параметров для прошивных станов (положение оправки в очаге деформации для получения необходимой толщины стенки гильзы) с произвольным положением оси поворота

валка на угол подачи, относительно пережима, с учетом угла подачи позволяет определять выдвижение оправки за пережим варьируя расстоянием между валками (обжатию заготовки в пережиме), и обжатие заготовки перед носком оправки. Погрешность при расчете данной методикой по толщине стенки и обжатию по сравнению с графическим методом настройки не превышает 3%.

В источниках [37, 38], математическая модель представлена в полном объеме, в рамках же настоящего исследования интерес представляет программный продукт, разработанный на базе данной математической модели, обеспечивающий ее практическое применение в промышленных условиях.

Упрощенная блок-схема работы алгоритма по расчету настроечных параметров прошивного стана с учетом разворота валков на угол подачи представлена на рисунке 2.15.

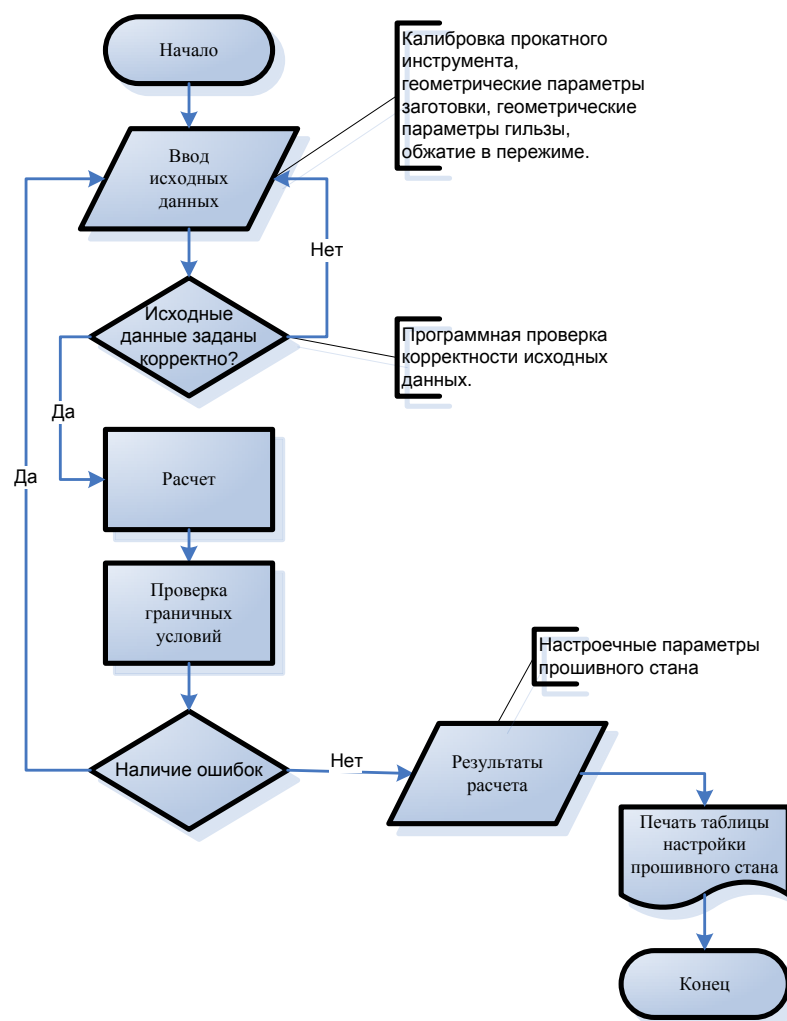


Рисунок 2.15 – Алгоритм расчета настроечных параметров прошивного стана с учетом разворота валков на угол подачи (упрощенная блок-схема)

2.6.1 Разработка нового программного обеспечения для расчета настроечных параметров прошивного стана

Для расчета настроечных параметров прошивного стана, оперативного внесения корректирующих действий в процессе прокатки, для расчета таблиц прошивки и создания калибровок прокатного инструмента прошивного стана (валков и оправок) была разработана компьютерная программа «Korx2». В основу, которой, легла математическая модель и алгоритм расчета, включающие граничные условия процесса прошивки.

Программа «Korx2», главным образом, предназначена для расчета настроечных параметров прошивного стана. Рассчитываемые настроечные параметры, такие как: расстояние между валками (или обжатие заготовки) в пережиме; расстояние между линейками в пережиме; расстояние между линейками на выходе; коэффициент овализации; выдвигание носка оправки за пережим валков; обжатие перед носком оправки; коэффициент вторичного захвата («GF»); расстояние между валками прошивного стана в начале входного участка рабочей поверхности; расстояние между валками прошивного стана в конце выходного участка рабочей поверхности – являются необходимыми и достаточными данными для получения гильзы требуемой геометрии.

Программа состоит из двух окон основного и вспомогательного (рисунок 2.16).

Основное окно программы условно разбито на три области: 1) область ввода исходных данных (верхний левый угол главного окна); 2) область вывода результатов расчетов и изменения варьируемого параметра (верхний правый угол); 3) область, расположенная в нижней части программы – диалоговая область, здесь выводится вся полезная информация и подсказки.

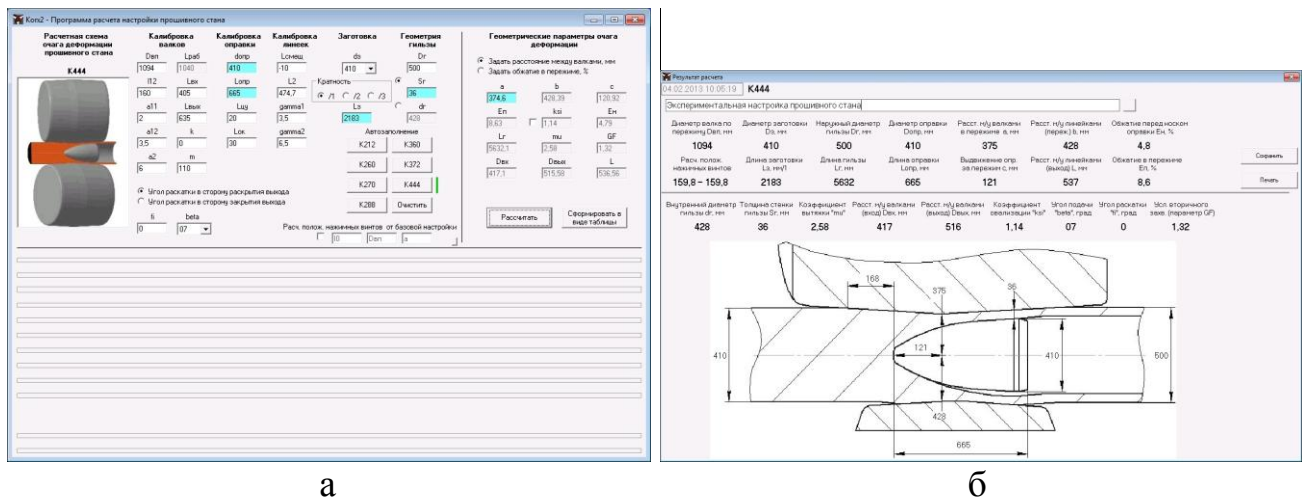


Рисунок 2.16 – Внешний вид окон программы «Korx2»: а – основного, б – вспомогательного

Вспомогательное окно программы (рисунок 2.16 б) открывается при нажатии на кнопку «Сформировать в виде таблицы» и служит для представления результатов расчетов в наглядной форме (в виде таблицы и схемы очага деформации прошивного стана).

Для выполнения расчетов настройки очага деформации прошивного стана с использованием программы «Korx2» необходимо ввести исходные данные, включающие калибровку прокатного инструмента, размеры заготовки и гильзы. Оператор варьирует одним из двух параметров: расстоянием в пережиге валков (в мм) или обжатием в пережиге валков (в %) добиваясь отсутствия сообщений об ошибках в диалоговой области.

При расчете учитывается разворот валков на угол подачи и угол раскатки в сторону раскрытия или закрытия выхода (при отсутствии последнего, угол раскатки принимается равным 0).

Помимо определения настроечных параметров, для процесса прошивки по любой существующей технологии возможен вариант проектирования новой технологии прошивки за счет изменения калибровок прокатного инструмента (валков, оправок и рабочего желоба линеек).

Программа содержит алгоритм, выполняющий проверку условий первичного и вторичного захватов, при этом в случае неудовлетворительных

условий или отсутствии захвата программа, предупреждает о необходимости внесения корректировок в исходные данные.

Если в результате расчетов обжатие перед носком оправки оказывается менее 4% (рисунок 2.17), загорается сообщение об ошибке и недопустимо малом значении обжатия перед носком оправки (рекомендованные пределы обжатия перед носком оправки составляют 4-8%, однако верхний предел может быть завышен в некоторых случаях).

Проверка обжатия заготовки в пережиме валков выполняется посредством сравнения расчетной длины очага деформации с действительной его длиной (в случае слишком большого обжатия в пережиме для заданных калибровок прокатного инструмента, программа в диалоговой области сообщит об ошибке).

Кроме того, программа выполняет ряд проверок на отсутствие так называемых «случайных ошибок», которые могут быть допущены оператором.

Рисунок 2.17 – Пример сообщений об ошибках в диалоговой области главного окна программы «Korx2»

На данный программный продукт получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [45-47]. Проведена промышленная апробация программы в условиях работы прошивного стана ТПА 159-426 (ТПЦ-3) ОАО «ВТЗ», программа показала высокую точность при расчете настроечных параметров прошивного стана во всем диапазоне используемых типоразмеров заготовок, гильз и калибровок прокатного инструмента. По результатам испытаний программа принята к использованию как в ЦЗЛ, так и непосредственно на прошивном стане. В приложении А и Б

представлены акты внедрения методики моделирования очага деформации прошивного стана и программного продукта «Korx2».

2.7 Новая схема деформирования черновой трубы на трехвалковом обкатном стане винтовой прокатки

Известно, что процесс обкатки черновой трубы осуществляется с обязательным увеличением ее наружного диаметра и обжатием по стенке до 15% [32]. Тем самым достигается удовлетворительное качество и точность по толщине стенки трубы.

Реализация технологии производства труб диаметром менее 121 мм из НЛЗ, с уменьшением диаметра гильзы на операции прошивки, возможна лишь при дальнейшем уменьшении диаметра черновой трубы на последующих операциях, в том числе и на операции обкатки. В связи с изложенным представляет интерес исследовать возможность уменьшения наружного диаметра черновой трубы на данной операции.

Для осуществления процесса обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы необходимо минимизировать деформацию по стенке (до $\pm 3\%$), посредством задачи в стан трубы с «номинальной» толщиной стенки. При этом деформирование трубы должно осуществляться в сужающемся по ходу прокатки калибре, образованном рабочим конусным участком оправки и размещенных вокруг нее валков, развернутых к оси прокатки на угол подачи и раскатки. Полирование поверхности трубы должно осуществляться на цилиндрических участках валков и оправки (рисунок 2.18).

Из рассмотрения принципиальной схемы обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы (рисунок 2.18) видно, что калибровка валков представляет сочетание трех участков: «конического» входного, выполняющего функции как обеспечения захвата трубы, так и ее редуцирования на оправке с частичной раскаткой стенки; «цилиндрического», выполняющего функцию раскатного и калибрующего и «конического» выходного. Наличие «цилиндрического» участка

определяется так же необходимостью уравнивания реактивных осевых усилий, возникающих при прокатке заднего конца трубы, на коническом участке очага деформации.

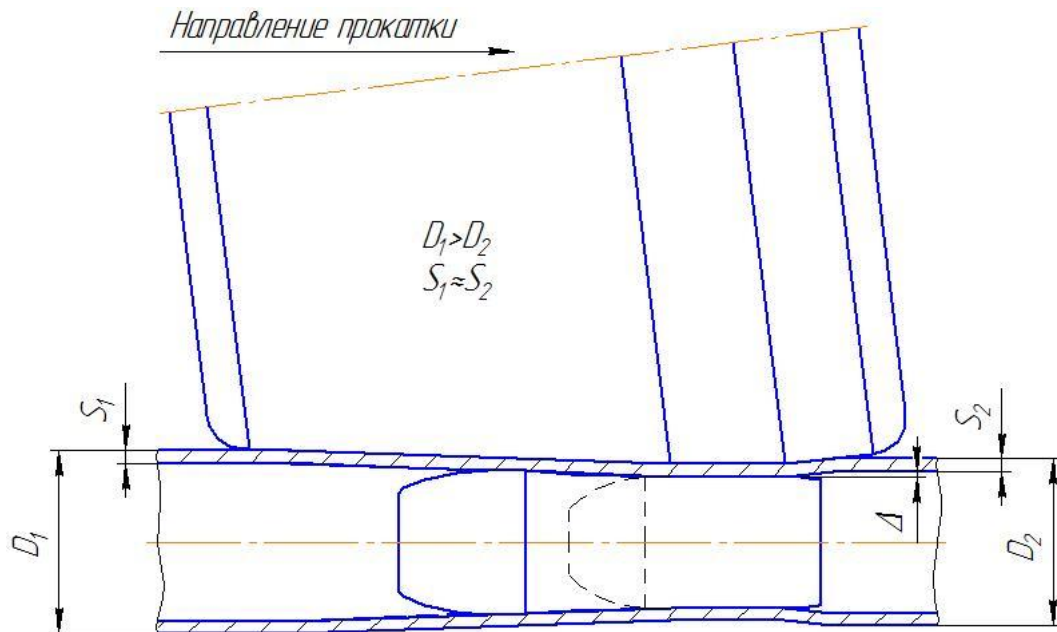


Рисунок 2.18 – Принципиальная схема обкатки в 3-х валковом обкатном стане винтовой прокатки с уменьшением диаметра черновой трубы

Высокое качество поверхности и необходимая точность черновых труб по толщине стенки определяются в данном процессе: малой степенью редуцирования трубы по диаметру; относительно малой степенью деформации трубы по толщине стенки; отсутствием направляющего инструмента трения; жесткостью калибра, образованного валками и оправкой; а так же пониженной осевой нагрузкой на упорный стержень оправки обкатного стана (рисунок 2.19).

Действительно, использование оправки с коническим участком, имеющим обратную конусность, создает дополнительную осевую составляющую τ' силы R' , действующей со стороны валков на оправку, направленную против хода прокатки (рисунок 2.19 б). Суммарное осевое усилие, действующее со стороны оправки на упорный стержень, будет уменьшаться по мере увеличения длины обратного конуса оправки и угла его образующей. Уменьшение осевой нагрузки на упорный стержень способствует уменьшению стрелы прогиба и вибрации последнего и,

следовательно, стабилизации положения оправки относительно горизонтальной оси прокатки.

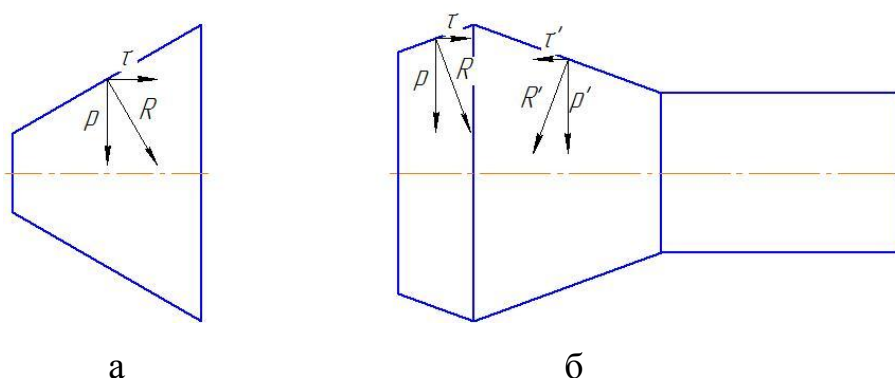


Рисунок 2.19 – Схема усилий действующих на конические участки оправок со стороны валков: а – для классической оправки; б – для предложенной оправки

Положительным признаком предложенной технологии риллингования, в плане обеспечения высокой маневренности ТПА, является, возможность осуществлять процесс с увеличением диаметра черновой трубы, используя укороченную цилиндрическую оправку (показана пунктиром на рисунке 2.18), в этом случае процесс риллингования уподобляется известному способу обкатки трубы, с использованием так называемой «цилиндрической» калибровки прокатного инструмента обкатного стана [3].

Для условий производства труб на ТПА с автоматическими станами, в том числе на ТПА-140 ОАО «СинТЗ», данное обстоятельство может оказаться значимым при освоении новой технологии производства с использованием НЛЗ повышенного диаметра. Действительно, в условиях производства труб на ТПА-140 ОАО «СинТЗ» непрерывнолитая заготовка диаметром 156 мм используется в настоящее время также для изготовления труб диаметром 168 мм, т.е. операции прошивки заготовок, а так же риллингования осуществляют с увеличением диаметров соответственно гильзы и трубы.

2.7.1 Компьютерное моделирование процесса обкатки с уменьшением диаметра

Предлагаемый процесс обкатки черновой трубы с уменьшением диаметра на трехвалковом стане винтовой прокатки является новым, поэтому, представляет интерес рассмотреть формоизменение металла черновой трубы в очаге деформации обкатного стана, а так же определить максимально возможную степень уменьшения диаметра черновой трубы и величину раздачи внутреннего диаметра черновой трубы Δ .

Формоизменение металла черновой трубы может быть смоделировано с использованием метода конечных элементов, однако, ввиду отсутствия какого либо опыта моделирования предлагаемого нового процесса обкатки необходимо представить сравнительные результаты расчетов, по крайней мере, двух программных продуктов.

Программа КОМПАС-3D использовалась для создания трехмерной твердотельной модели очага деформации обкатного стана (рисунок 2.20 а) в соответствии с рассмотренной выше принципиальной схемой (рисунок 2.18).

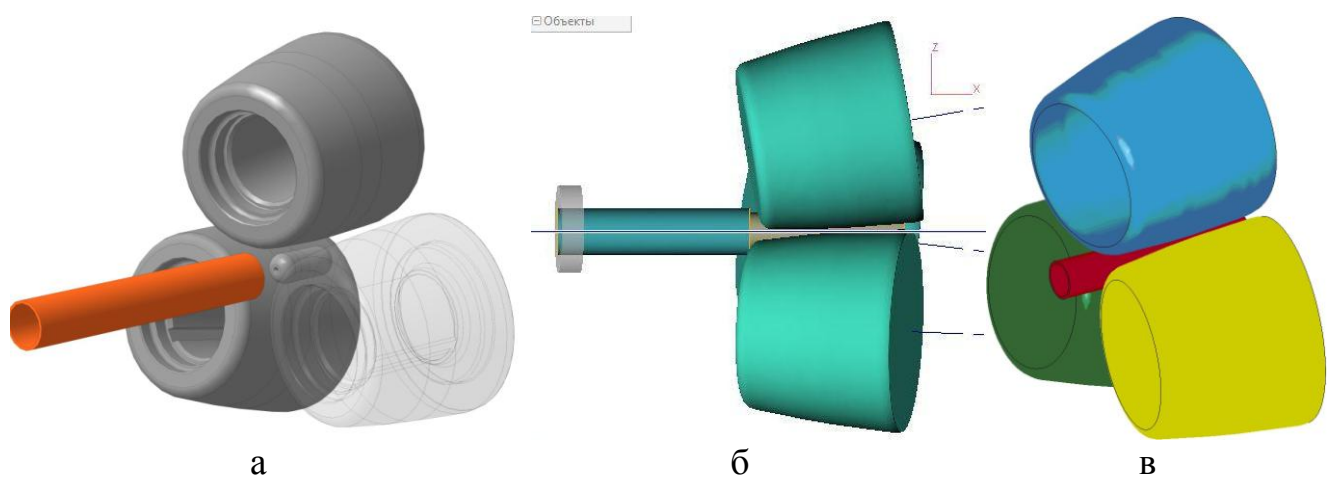


Рисунок 2.20 – Моделирование обкатки с уменьшением диаметра:

а – твердотельная модель, выполненная в КОМПАС-3D; б – расчетная модель для QForm 2D/3D×64; в – расчетная модель для LS-DYNA

Моделирование методом конечных элементов осуществлялось на базе двух программ: QForm 2D/3D×64 и LS-DYNA. Разработанная твердотельная модель экспортировалась в каждый из данных продуктов (рисунок 2.20 б и в соответственно).

Исходные данные для моделирования в каждом программном продукте были одинаковыми:

- материал заготовки – сталь 20;
- материал прокатного инструмента – абсолютно жесткое тело;
- диаметр черновой трубы, задаваемой в стан – 128 мм;
- толщина стенки черновой трубы, задаваемой в стан – 8 мм;
- частота вращения валков – 80 об/мин;
- температура черновой трубы перед обкаткой – 1000°С;
- размер элементов принимался исходя из условия 0,25 от минимальной толщины стенки;
- для моделирования использовалась вязкопластическая среда.

Результаты моделирования в QForm 3D представлены на рисунке 2.21.

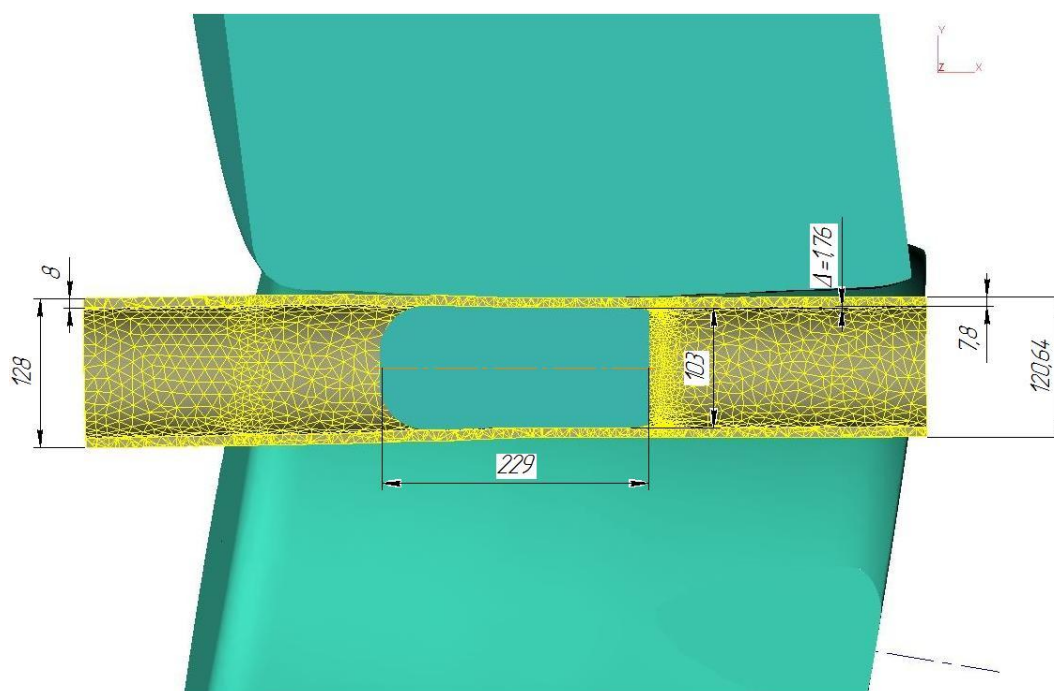


Рисунок 2.21 – Результат компьютерного моделирования обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы в QForm 3D

Результаты моделирования в LS-DYNA представлены на рисунке 2.22.

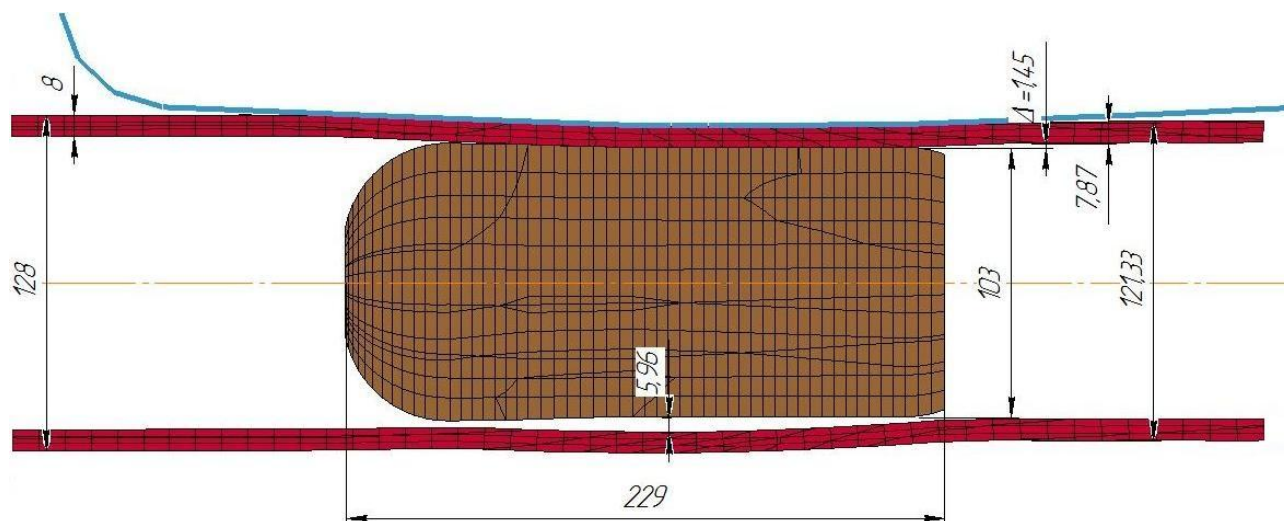


Рисунок 2.22 – Результат компьютерного моделирования обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы в LS-DYNA

Сравнение результатов расчета процесса обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы в КОМПАС 3D и моделирования в QForm 3D и LS-DYNA представлено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнение результатов компьютерного моделирования

	D ₁ , мм	D ₂ , мм	D ₁ -D ₂ , мм	S ₁ , мм	S ₂ , мм	S ₁ -S ₂ , мм	Δ, мм
КОМПАС 3D	128	121	7	8	7,6	0,4	-
QForm 3D	128	120,64	7,36	8	7,8	0,2	1,76
LS-DYNA	128	121,33	6,67	8	7,87	0,13	1,45

Из таблицы 2.3 видно, что результаты моделирования в обоих программных продуктах близки между собой и соответствуют расчетным значениям, полученным в программе КОМПАС 3D. На основании этого можно сделать вывод о корректности применяемого подхода твердотельного моделирования при проектировании новой технологии обкатки. Так же моделирование методом конечных элементов позволило определить величину внутренней раздачи

черновой трубы на сторону («разбой») при обкатке с уменьшением диаметра. Определение данной величины при твердотельном моделировании невозможно. Величина «разбоя» при разработке технологического инструмента обкатного стана принята как средняя арифметическая результатов моделирования методом конечных элементов в двух программных продукта:

$$\Delta = (\Delta Q_{\text{Form}} + \Delta L_{\text{S-DYNA}}) / 2 = 1,6 \text{ мм}$$

2.7.2 Разработка калибровок прокатного инструмента обкатного стана

Опираясь на разработанную принципиальную схему обкатки черновой трубы с уменьшением диаметра (рисунок 2.18), и результаты компьютерного моделирования были разработаны калибровки прокатного инструмента обкатного стана.

На рисунке 2.23 изображен валок 3-х валкового обкатного стана винтовой прокатки, состоящий из входного участка – конуса захвата протяженностью 177 мм и углом конусности 2° , цилиндрического участка длиной 100 мм, участка с обратной конусностью с углом образующей 2° и длиной 205 мм (углы конусности приведены с учетом разворота валка на угол раскатки 7°).

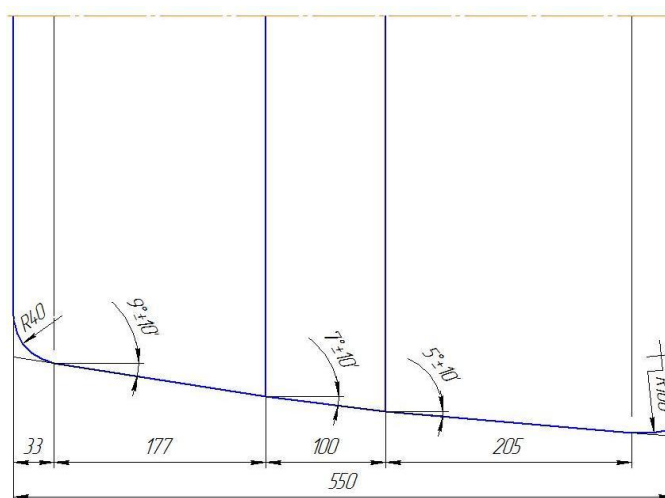


Рисунок 2.23 – Калибровка валка трехвалкового обкатного стана для ведения процесса обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы

На рисунке 2.24 изображена оправка обкатного стана состоящая из следующих участков:

- входной участок I длиной 40 мм, выполненный со сферической боковой поверхностью, – для обеспечения контакта внутренней стенки черновой трубы с оправкой и предварительной раскатки неровностей ее поперечного сечения, полученной после прокатки в клетях СПП;
- участок II – обратного конуса длиной 30 мм и углом конусности 1° – для последующей дораскатки неровностей стенки гильзы;
- участок III – обратного рабочего обратного конуса длиной 40 мм – выполняет функцию раскатки стенки гильзы, утолщающейся в процессе редуцирования, а так же «сопровождает» уменьшающийся в диаметре профиль трубы. Меридиональное сечение участка рабочего конуса трубы выполнено в виде сопряжения с последующим цилиндрическим участком;
- участок IV – цилиндрический, на котором осуществляется окончательная чистовая раскатка стенки трубы и отрыв ее от тела оправки. Длина участка 104 мм рассчитана из условия выполнения равенства 1,5-2,0 шагов осевой подачи трубы на выходе из очага деформации.

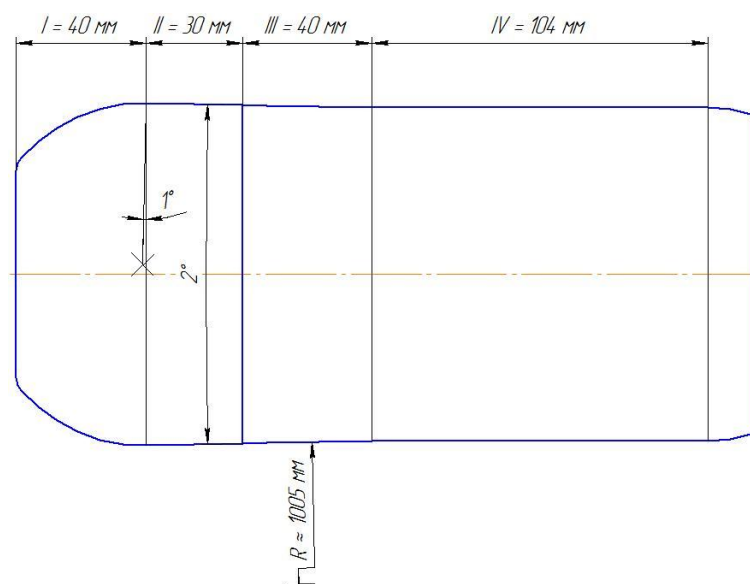


Рисунок 2.24 – Калибровка оправки трехвалкового обкатного стана для ведения процесса обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы

Процесс обкатки с использованием представленных калибровок прокатного инструмента выглядит следующим образом: черновая труба после прокатки в клетях СПП задается в калибр обкатного стана, в котором она захватывается входными участками валков и редуцируется до посадки на сферический входной участок оправки, на котором происходит предварительная раскатка неровностей стенки черновой трубы. Далее труба проходит участок оправки с обратной конусностью. Угол конусности оправки (1°) меньше угла конусности валка (2°) поэтому на данном участке происходит дополнительная раскатка стенки трубы. Основная функция участка – окончательное устранение неровности поперечного сечения черновой трубы для задачи в последующий рабочий конусный участок очага деформации для формирования чистой трубы с равномерно раскатанной стенкой. Последовательно перемещаясь вдоль оси прокатки, труба уменьшается в диаметре под действием радиальной и осевой составляющих сил, передаваемых ей со стороны деформирующих валков. При этом стенка трубы может утолщаться

для случаев деформирования тонкостенных труб с отношением $\frac{S_{тр}}{D_{тр}} < 0,24$ с

минимумом утолщения при $\frac{S_{тр}}{D_{тр}} = 0,15$, оставаться неизменной при $\frac{S_{тр}}{D_{тр}} = 0,24$

или утоняться при деформировании труб с соотношением $\frac{S_{тр}}{D_{тр}} > 0,24$ с

максимумом утонения, соответствующим прокатке труб с $\frac{S_{тр}}{D_{тр}} \geq 0,44$ [35].

Степень утолщения или утонения стенки трубы для трехвалкового обкатного стана и, соответственно, корректирование размеров оправки должно быть определено в ходе проведения экспериментальной прокатки труб на обкатном стане. В соответствии с этим возможно по-разному выполнять размеры конусного участка оправки и вести процесс с сохранением, утолщением или утонением стенки трубы.

Далее труба проходит последний «полирующий» цилиндрический участок оправки, на котором осуществляется окончательная чистовая обработка стенки и

полировка поверхности трубы. Процесс чистовой отделки не отличается от процесса риллингования с использованием цилиндрической оправки и соответствующей «цилиндрической» калибровки прокатного инструмента обкатного стана.

2.8 Выводы по главе

На основе проведенного анализа технологических особенностей оборудования горячей линии ТПА-140 обоснованы и предложены новые технические решения, направленные на совершенствование процессов винтовой прокатки (прошивки на двухвалковом стане и обкатки на трехвалковом стане) с целью уменьшения диаметра гильзы (черновой трубы).

Предложенные технические решения могут быть значимы для ТПА с автоматическими раскатными станами, в том числе и для ТПА-140 ОАО «СинТЗ» в процессе освоения производства горячекатаных труб диаметром менее 121 мм при использовании непрерывнолитой заготовки диаметром 156 мм или в процессе освоения производства горячекатаных труб любого сортамента из НЛЗ повышенного диаметра.

Разработанные калибровки прокатного инструмента прошивного и обкатного станов, режимы прошивки НЛЗ и обкатки черновых труб с последовательным уменьшением диаметра трубы на каждой операции горячего передела ТПА-140 защищены патентами Российской Федерации [52, 53 и 54].

На разработанный программный продукт для расчета настроечных параметров прошивного стана получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [45].

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Одним из важнейших технологических параметров процесса прошивки является технологическая пластичность стали, этот параметр позволяет выбрать рациональный температурный режим, обеспечивающий максимальную пластичность заготовки в процессе деформации.

В практике трубного производства технологическую пластичность различных сталей, оценивают по результатам сравнения величин критических обжатий или исследования образцов на горячее кручение.

3.1 Определение температурного интервала максимальной технологической пластичности металла методом горячего кручения

Способность сталей и сплавов подвергаться обработке давлением на трубопрокатных агрегатах определяется двумя основными показателями – пластичностью и сопротивлением деформации, которые в совокупности обеспечивают технологическую пластичность металлов.

Оба этих показателя взаимосвязаны и зависят от природы металла, его структурного состояния, температурно-скоростных условий деформации, состояния поверхности заготовки, окружающей среды и других факторов.

Схема напряженного состояния при винтовой прошивке резко отличается от схемы напряженного состояния при любом применяемом способе испытания металлов. Поэтому экспериментальные данные о механических свойствах сталей в горячем состоянии (сопротивление растяжению, сжатию, динамическая проба на удар и др.) не показательны в этом случае и практически не могут быть использованы.

Сущность метода горячего кручения заключается в определении угла закручивания образца до его разрушения (характеристики пластических свойств

стали) и максимального скручивающего усилия или момента кручения (характеристика сопротивления деформации).

Хотя схема напряженного состояния при кручении отличается от схемы, имеющейся при прошивке, однако, является наиболее близкой по сравнению с другими методами. Результаты таких испытаний позволяют установить оптимальный температурный интервал, в котором необходимо вести прошивку, хорошо согласующийся с результатами испытаний на прошиваемость на экспериментальном стане винтовой прокатки и практикой производства труб [39].

В настоящее время существуют автоматизированные испытательные установки, позволяющие с высокой точностью определять необходимые механические свойства металлов. Одной из таких установок является цифровая замкнутая система термомеханических испытаний Gleeble 3800. Установка Gleeble 3800 с мобильным модулем горячего кручения Hot Torsion (рисунок 3.1), расположенная в Южно-Уральском Государственном университете (ЮУрГУ).



Рисунок 3.1 – Установка Gleeble с модулем горячего кручения

Для проведения исследований из непрерывнолитой заготовки диаметром 410 мм (сталь 20) были вырезаны образцы (рисунок 3.2).

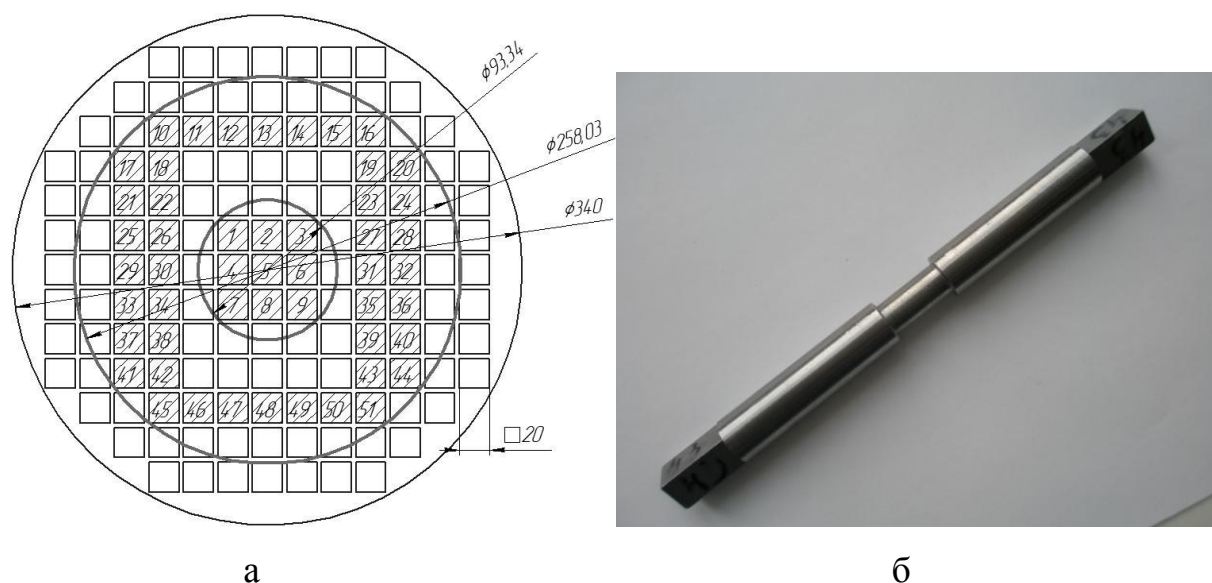


Рисунок 3.2 – Образцы для испытаний на горячее кручение на установке Gleeble:
а – схема раскроя непрерывнолитой заготовки; б – общий вид образца

3.1.1 Методика проведения испытаний на горячее кручение

Испытания на горячее кручение проводились на модуле Hot Torsion исследовательского комплекса «Gleeble-3800» в интервале температур от 1050°C до 1250°C с шагом 25°C. При каждой температуре испытывались три образца. Образцы нагревались до температуры испытания со скоростью 5°C/с прямым пропусканием электрического тока и затем выдерживались в течение 1,5 мин. для достижения минимального градиента температур в рабочей зоне образца. Время выдержки было определено при испытаниях на настроечных образцах из условия минимального градиента. Температура фиксировалась двумя термопарами, приваренными к образцу. Первая термопара (Т1) приваривалась в центре рабочей зоны и служила для контроля температуры нагрева образца перед испытанием. В процессе кручения эта термопара отрывалась. В связи с этим, в непосредственной близости от рабочей зоны со стороны неподвижного захвата приваривалась вторая термопара (Т2), по показаниям которой оценивалось изменение

температуры в процессе испытания. Предварительные измерения показали, что температурный градиент в пределах рабочей зоны образца не превышал 5°C , тогда как показания второй термопары были от 20°C до 50°C меньше показаний первой термопары, приваренной в центре рабочей зоны.

Для определения скорости деформации при кручении определялась скорость деформации в сечении перед носком оправки при прошивке заготовки диаметром 410 мм за её полуоборот [30].

Разработанная методика расчета скорости деформации опубликована в [44].

По данной методике скорость деформации изменяется в пределах от 10 до 20 с^{-1} . На основе полученных вычислений, было принято решение проводить испытания на горячее кручение при усредненном значении скорости деформации 15 с^{-1} .

Для перевода скорости деформации в скорость вращения зажима выведена зависимость [40]:

$$\varepsilon = \frac{d \cdot \Theta}{2l\sqrt{3}}, \quad (3.1)$$

где ε – степень деформации;

d – диаметр рабочей зоны образца, мм;

Θ – угол скручивания, рад;

l – длина рабочей зоны образца, мм.

Подставляя в (3.1) геометрические размеры образцов ($d=10\text{ мм}$, $L=20\text{ мм}$), получаем

$$\varepsilon = 0,144 \cdot \Theta$$

Пусть τ – время поворота на угол θ , f – частота вращения, об/с. Тогда для скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ (с^{-1}) справедливо:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d}{2L\sqrt{3}} \frac{\theta}{\tau} = \frac{d\pi}{L\sqrt{3}} f = 0,906 \cdot f \quad (3.2)$$

Среднее значение скорости деформирования в технологическом режиме винтовой прошивки составляет 15 с^{-1} . Согласно (3.2), этому значению $\dot{\varepsilon}$

соответствует значению $f=16,56$ об/с. По этой причине все измерения проводились при скорости вращения подвижного захвата, равной 16,5 об/с.

Количество полных оборотов (степень деформации) образца задавалось равным 50, что заведомо больше, чем образец способен выдержать не разрушаясь. Предварительные значения о количестве оборотов до разрушения были получены на настроечных образцах. Таким образом, продолжительность испытания одного образца не превышала 3 секунд.

В процессе испытания в непрерывном режиме регистрировались: угол поворота, крутящий момент, температура в непосредственной близости от рабочей зоны. По полученным данным строились графики зависимости крутящего момента M от угла поворота θ и определялись максимальный крутящий момент $M_{\max}$, эквивалентная деформация $\varepsilon_{\max}$, при которой достигается максимальный крутящий момент, угол поворота θ_p , количество оборотов N_p до разрушения образца и величина крутящего момента M_p в момент разрушения.

3.1.2 Результаты экспериментов

Экспериментальные кривые кручения в координатах угол поворота – крутящий момент, полученные при различных температурах деформации, представлены на рисунке 3.3. На каждом графике нанесены кривые кручения трех образцов, испытанных при одинаковой температуре. Цифры у кривых деформации обозначают номер образца.

Из представленных рисунков видно, что с ростом угла поворота θ крутящий момент M , требуемый для деформирования, сначала возрастает и достигает максимального значения $M_{\max}$. При последующем росте угла поворота наблюдается снижение требуемого крутящего момента, которое обычно связывают с процессами динамического разупрочнения. При определенной величине угла поворота θ_p наступает разрушение образца.

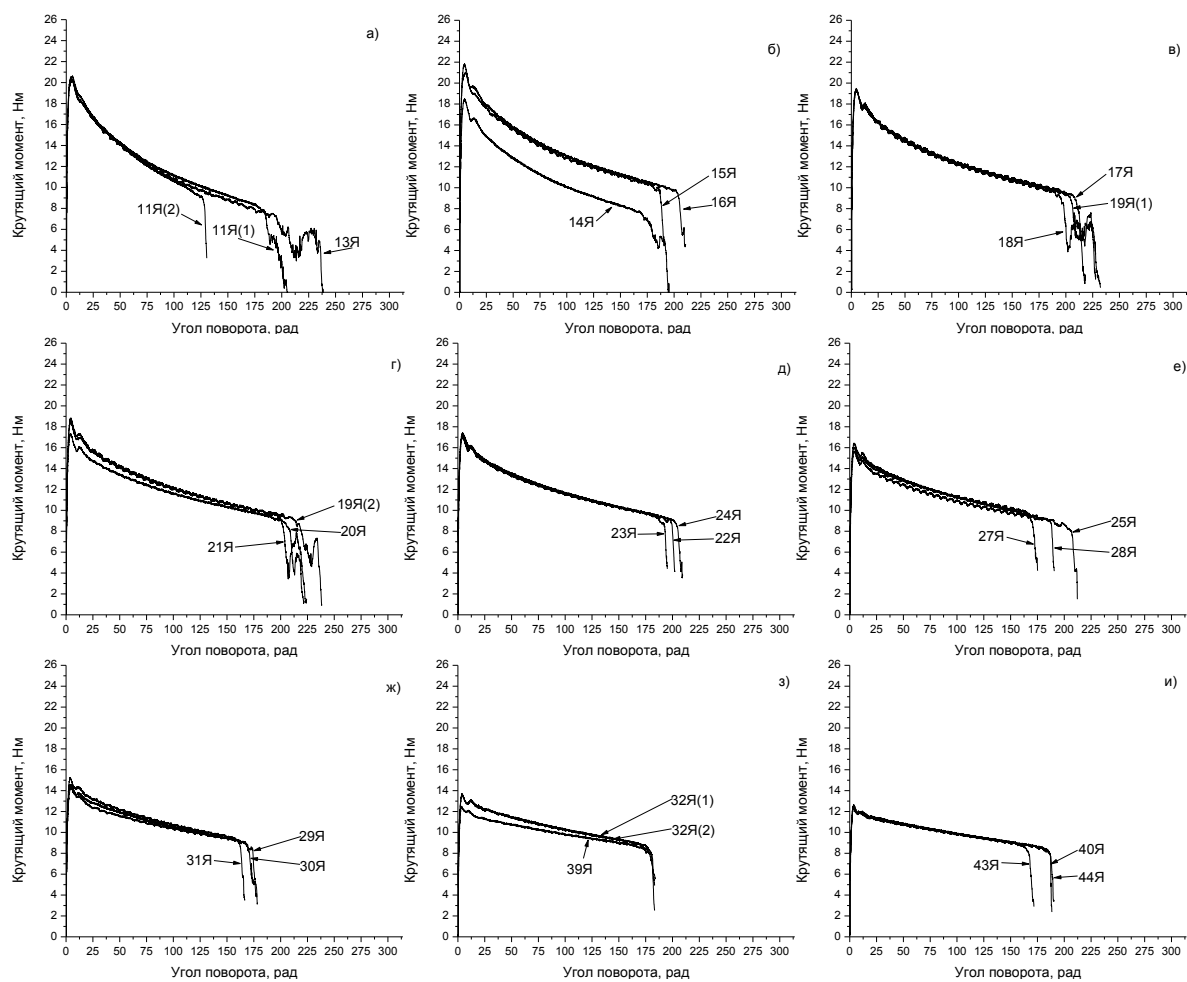


Рисунок 3.3 – Экспериментальные кривые кручения образцов стали 20 при разных температурах испытаний: а) 1050°C, б) 1075°C, в) 1100°C, г) 1125°, д) 1150°C, е) 1175°C, ж) 1200°C, з) 1225°C, и) 1250°C

Помимо угла поворота и крутящего момента в ходе кручения регистрировалась температура образца в непосредственной близости от рабочей зоны (по показаниям термопары Т2). В качестве примера на рисунке 3.4 приведены кривая кручения образца с наложенным на нее графиком изменения температуры образца. Видно, что при используемой высокой скорости вращения с ростом угла поворота происходит интенсивный разогрев образца за счет преобразования части механической энергии в тепловую энергию. Показания термопары Т2 повышаются на величину порядка 50°C. Очевидно, изменения температуры рабочей части образца значительно превышают указанную величину. Это обстоятельство может являться еще одной причиной разупрочнения материала и падения величины крутящего момента.

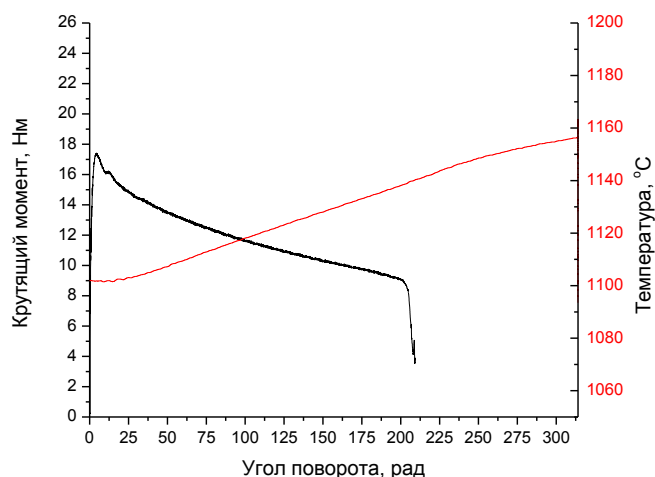


Рисунок 3.4 – Изменение температуры образца в процессе кручения

Для точного определения максимального крутящего момента $M_{\max}$ строились начальные участки кривых кручения в интервале углов поворота θ от 0 до 30 радиан, который соответствует изменению эквивалентной деформации ε от 0 до значения 4,3 (рисунок 3.5).

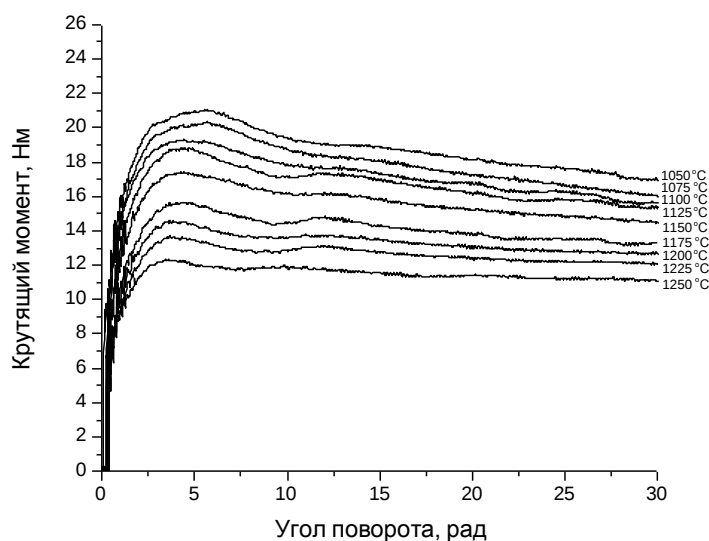


Рисунок 3.5 – Участки кривых кручения стали 20 в интервале эквивалентных деформаций 0-4,3 и температур 1050–1250°C

Величина эквивалентной деформации $\varepsilon_{\max}$, при которой достигается максимальное значение крутящего момента, уменьшается с ростом температуры деформации. Так величина $\varepsilon_{\max}$ снижается от значения 0,75 (угол поворота 5,2 рад.) при температуре испытания 1050°C до значения 0,52 (угол поворота 3,6 рад.)

при температуре испытаний 1250°C . Величина максимального крутящего момента $M_{\max}$ монотонно уменьшается с ростом температуры деформации от 21 до 12 Н·м (рисунок 3.6).

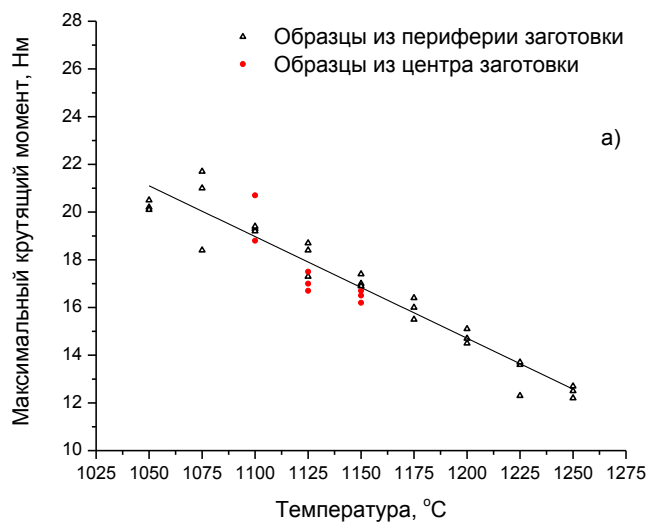


Рисунок 3.6 – Максимальный крутящий момент стали 20 в интервале температур от 1050 до 1250°C

Величина крутящего момента M_p , при котором наступает разрушение образцов, определялась из кривых кручения, представленных на рисунках 3.3. Величина M_p зависит от температуры испытания незначительно (от 8 до 10 Н·м) (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Крутящий момент, при котором наблюдается разрушение образцов из стали 20

Основным показателем технологической пластичности стали в испытаниях на кручение является угол поворота θ_p или число оборотов $N_p = \theta_p / 2\pi$ до разрушения образца. При кручении исследуемых образцов этот параметр испытывает значительный разброс, обусловленный структурной неоднородностью НЛЗ. Результаты трехкратных испытаний, представленные на рисунке 3.8, иллюстрируют разброс величины θ_p . Следует отметить двукратное различие в величине θ_p для образцов, вырезанных из периферийной и центральной зоны непрерывнолитой заготовки из стали 20.



Рисунок 3.8 – Зависимость угла поворота до разрушения образцов из стали 20 от температуры нагрева, °C

Усредненные значения числа оборотов до разрушения $\langle N_p \rangle$ в зависимости от температуры испытания образцов, вырезанных из периферийной части заготовок, приведены на рисунке 3.9.

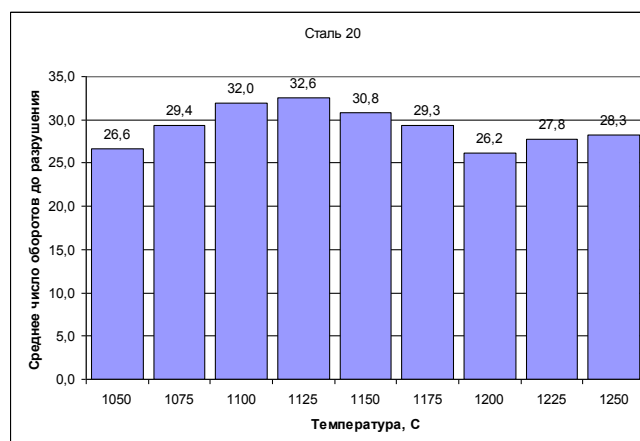


Рисунок 3.9 – Зависимость усредненного числа оборотов до разрушения образцов из стали 20 от температуры нагрева, °C

Для более наглядного анализа изменения пластичности при горячем кручении была построена гистограмма отклонений показателей пластичности относительно оптимального значения в исследуемом интервале температур (рисунок 3.10).

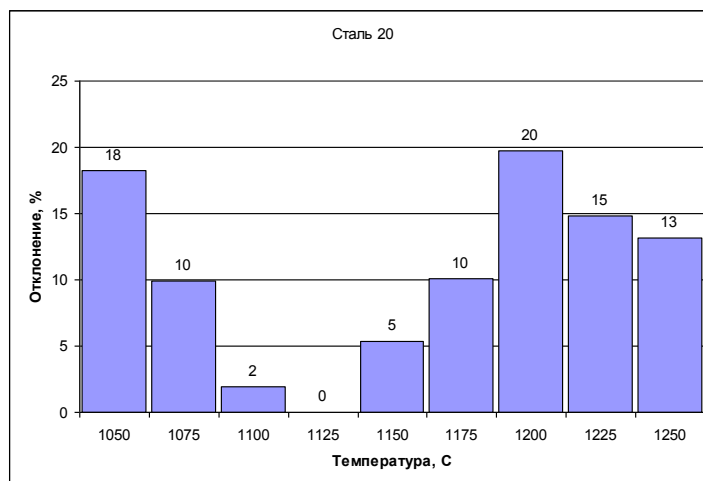


Рисунок 3.10 – Зависимость относительного отклонения показателей пластичности относительно оптимального значения для стали марки 20 от температуры нагрева, °C

Из анализа гистограмм, в частности отклонений показателей технологической пластичности относительно оптимальных значений (рисунок 3.10) следует, что температурный диапазон максимальных значений технологической пластичности для стали 20 составляет от 1100°C до 1150°C.

Имеется температурная пороговая область (1200°C) при которой отмечено существенное снижение технологической пластичности: 20%. При дальнейшем повышении данного температурного порога при температуре нагрева 1225°C уровень технологической пластичности вновь повышается и остается почти постоянным до 1250°C.

3.1.3 Выводы по результатам испытаний на горячее кручение

1. Кривые кручения исследуемой стали имеют типичный для испытаний образцов на горячее кручение вид: с ростом угла поворота крутящий момент

возрастает до некоторого максимального значения, а затем происходит его уменьшение в результате процессов динамической рекристаллизации и значительного разогрева образцов вследствие превращения части механической энергии в тепловую энергию при высокой скорости деформации.

2. Величина максимального крутящего момента $M_{\max}$ линейно уменьшается с ростом температуры деформации в интервале от 1050°C до 1250°C от 21 до 12 Нм.

3. Значения угла поворота θ_p и числа оборотов $N_p = \theta_p / 2\pi$ до разрушения, полученные в трех параллельных испытаниях, характеризуются значительным разбросом, свидетельствующим о наличии в непрерывнолитых заготовках структурных неоднородностей и внутренних дефектов. В стали 20 наблюдается существенная неоднородность свойств пластичности по сечению заготовки: угол поворота до разрушения образцов, вырезанных из периферийной части заготовок, в два раза выше, чем в образцах, вырезанных из центральной зоны заготовок, что предположительно свидетельствует о наличии пустот и пористости в центральной зоне заготовки.

4. С ростом температуры испытания в интервале от 1050°C до 1125 °C усредненное число $\langle N_p \rangle$ оборотов до разрушения образцов изменяется по кривой с максимумом, наблюдаемом при температуре 1125°C.

5. Существует температурный порог – 1200°C, при котором пластические свойства достигают своего минимума в исследуемом интервале температур: отклонение от оптимума достигает 20%.

6. Температурный диапазон максимальных значений технологической пластичности до температурного порога (1200°C) составляет 1100°C до 1150°C, то есть значителен и поэтому легко контролируем при выборе и регулировании режима нагрева.

Увеличение температуры нагрева после температурного порога (1200°C) для стали 20 увеличивает ее пластичность, но не достигает диапазона максимальной пластичности.

4 ИСПЫТАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Результаты настоящего диссертационного исследования опробованы в условиях работы ТПА 159-426 ОАО «ВТЗ» и ТПА-140 ОАО «СинТЗ». На трубопрокатных заводах была проведена серия экспериментов и опытно-промышленных прокаток по тестированию разработанных методики и программы настройки прошивного стана, проверке эффективности новых технических решений, в том числе нового прокатного инструмента, схем прошивки и обкатки, режимов деформации и сквозной технологии получения труб диаметром менее 121 мм из НЛЗ диаметром 156 мм.

4.1 Испытания в условиях ТПЦ-3 ОАО «ВТЗ»

В условиях ОАО «ВТЗ» проводились испытания разработанной методики настройки прошивного стана и программного продукта, а так же оценивалась стойкость оправок с кольцевой выточкой.

По итогам испытаний на ОАО «ВТЗ» разработанная методика твердотельного 3D моделирования процесса прошивки была принята к использованию, что позволило сократить расход металла за счет уменьшения количества настроечных заготовок. В настоящее время разработанная методика применяется трубопрокатной лабораторией НИЦ ОАО «ВТЗ» для проектирования нового прокатного инструмента прошивного стана, а так же при необходимости перенастройки прошивного стана на новые размеры гильзы, отсутствующие в таблицах прошивки, что подтверждается актом внедрения (приложение А).

Испытания программы для ЭВМ «Kogx2» показали ее эффективность с точки зрения сокращения времени на расчет настроечных параметров прошивного стана и возможностей по проектированию нового прокатного инструмента прошивного стана. Программа признана удобной в использовании, поскольку не требует от оператора специальных навыков (знание САД систем), позволяет сократить время настройки прошивного стана и снизить расход металла

за счет уменьшения количества настроечных заготовок. За время тестирования показана сходимости результатов расчета по программе с результатами фактических замеров гильз. По итогам тестирования программа принята к использованию в ТПЦ-3 ОАО «ВТЗ», что подтверждается актом ее внедрения (приложение Б).

Оправки прошивного стана с кольцевой выточкой, показали повышенную до 2 раз стойкость.

4.2 Испытания в условиях Т-2 ОАО «СинТЗ»

На ТПА-140 Синарского трубного завода была проведена серия экспериментов по апробированию результатов настоящего диссертационного исследования. Серия экспериментов состояла из 3-х опытно-промышленных прокаток НЛЗ диаметром 156 мм:

1. опытная прокатка на прошивном стане с валками грибовидного типа с целью получения гильзы с уменьшением диаметра до 136-140 мм (степень уменьшения диаметра гильзы 12,8-10,3%);

2. опытная прокатка на прошивном (гильза размером 138,0×12,0 мм, со степенью уменьшения диаметра 11,5%) и обкатном (черновая труба размером 127,5×8,0 мм, со степенью уменьшения диаметра 0,4%) станах с целью получения труб размером 114,0×8,0 мм из НЛЗ диаметром 156 мм;

3. опытная прокатка на прошивном (гильза размером 146,0×9,0 мм, со степенью уменьшения диаметра 6,4%) и обкатном (черновая труба размером 128,0×6,0 мм, со степенью уменьшения диаметра 5,9%) станах с целью получения тонкостенных труб размером 106,0×6,0 мм из НЛЗ диаметром 156 мм.

4.2.1 Исследование прошивки с уменьшением диаметра гильзы

Исследования прошивки с уменьшением диаметра гильзы по разработанным техническим решениям проводились во всех 3-х опытно-

промышленных прокатках. Новый технологический инструмент прошивного стана состоял из валков с гребнем интенсивной деформации, линейек, разработанных для получения гильз с уменьшением диаметра в условиях повышенных нагрузок и оправок различной конструкции.

Валки с гребнем интенсивной деформации для каждой опытной прокатки отличались нанесением различных элементов, стимулирующих первичный и вторичный захваты заготовки. Так в первой опытно-промышленной прокатке использовались точечные наплывы металла («бобышки»), нанесенные на всю поверхность входного конуса валков (рисунок 4.1 а); во второй – кольцевая нарезка глубиной 0,8 мм (рисунок 4.1 б), нанесенная на входной конус валков до гребня интенсивной деформации; в третьей прокатке использовались валки с гладким входным конусом (рисунок 4.1 в).

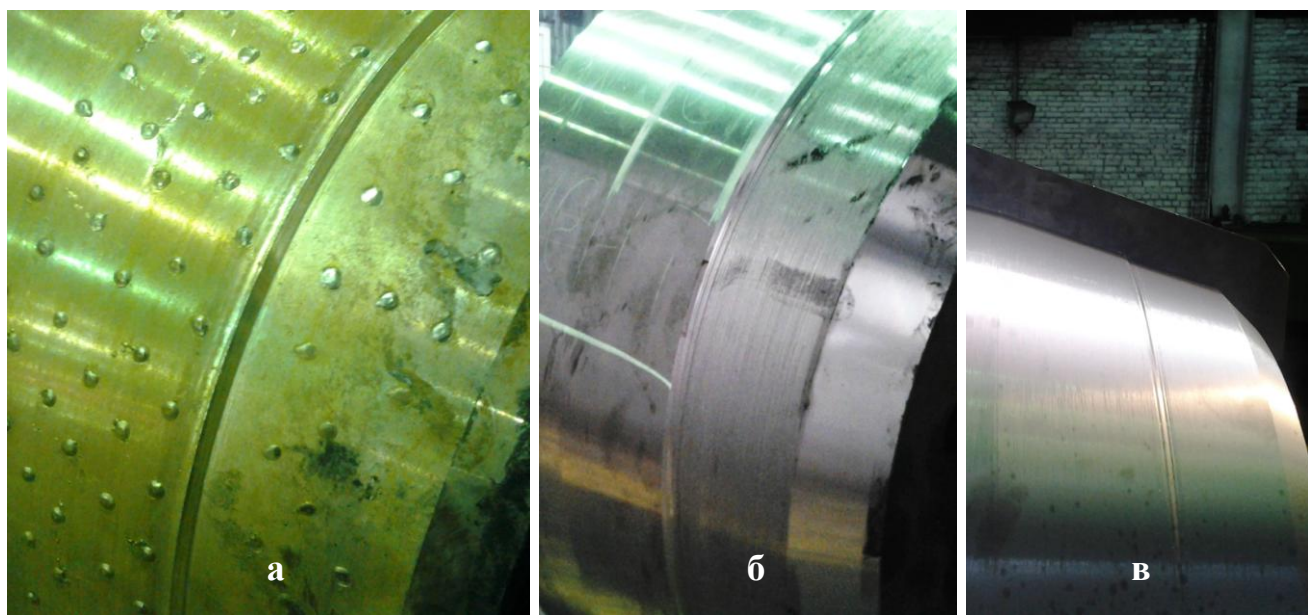


Рисунок 4.1 – Входная сторона экспериментального вала прошивного стана с гребнем интенсивной деформации и : а – точечными наплывами металла, б – кольцевой нарезкой, в – гладкой поверхностью

Линейки для каждой опытной прокатки изготавливались одинаковыми (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Экспериментальная линейка прошивного стана

В каждой опытной прокатке испытывались оправки различной конструкции: действующая оправка (рисунок 4.3 а); оправка с кольцевой выточкой (рисунок 4.3 б); оправка с обратным гребнем (рисунок 4.3 в); оправка с кольцевой выточкой и увеличенным на 16,7% диаметром носка (рисунок 4.3 г).



Рисунок 4.3 – Оправки прошивного стана: а – действующая (диаметр 110 мм);

б – экспериментальная, с кольцевой выточкой (диаметр 110 мм);

в – экспериментальная, с обратным гребнем (диаметр 110 мм);

г – экспериментальная, с кольцевой выточкой и увеличенным на 16,7% носком (диаметр 122 мм)

Все исследования проводились с прошивкой НЛЗ диаметром 156 мм. Использовались следующие марки стали: сталь 20 и 13ХФА.

Нагрев заготовок из стали 20 осуществляли в соответствии с рекомендациями, представленными в главе 3 (п. 3.1.2, 3.1.3), полученными в результате испытаний НЛЗ на горячее кручение (температура нагрева 1150°C). Нагрев заготовок из стали 13ХФА осуществляли согласно требованию действующей на заводе ТИ (температура нагрева 1170°C).

Общим для всех трех опытно-промышленных прокаток в части прошивки было то, что процесс прошивки протекал устойчиво на всех типах валков и оправок, а так же на всех режимах и во всех стадиях.

Целью первой опытной прокатки, помимо получения гильз с уменьшением диаметра, было сравнение стойкости действующих и экспериментальных оправок.

Получение гильз требуемого размера с использованием действующих оправок было возможно лишь при обжатии перед носком 11,8%.

При минимальной частоте вращения валков (60 об/мин) процесс прошивки характеризовался повышенной нагрузкой на приводы стана (3,5 кА) и высокой тянущей способностью валков (коэффициент осевой скорости металла $\eta_0=0,95$), а так же сопровождался повышенным износом оправки уже после одного прохода (рисунок 4.4). Увеличение частоты вращения валков до 80 и 100 об/мин позволило повысить скорость деформации и температуру разогрева деформируемого металла, а соответственно уменьшить нагрузку на приводы стана до 3,1 кА. Условия работы действующих оправок при этом несколько улучшились. Максимальная стойкость, достигнутая при частоте вращения валков 100 об/мин, составила в среднем 2-3 прохода (коэффициент осевой скорости при этом составил $\eta_0\approx 0,69-0,72$). Таким образом, условия работы прошивного стана таковы, что возможность применения действующих оправок при прошивке с уменьшением диаметра гильзы свыше 10% исключена.

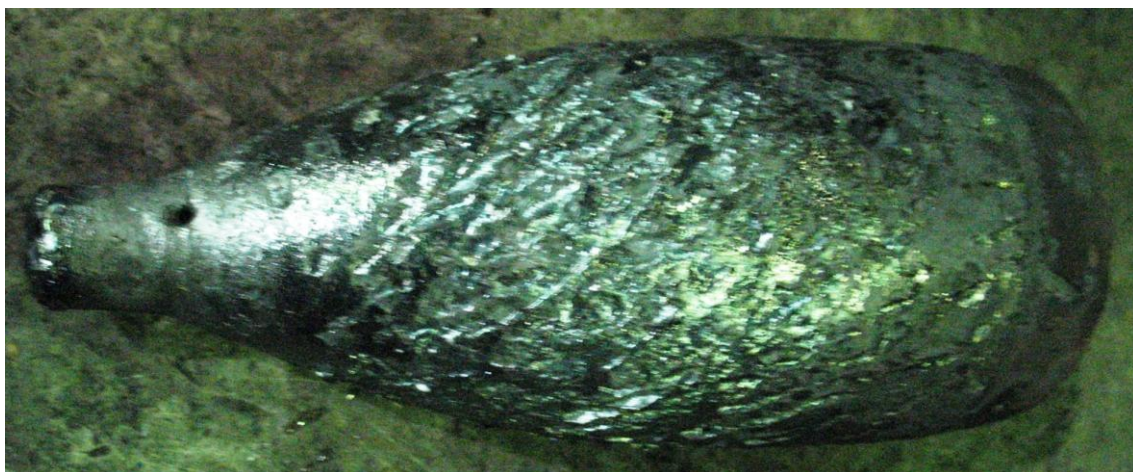


Рисунок 4.4 – Действующая оправка диаметром 110 мм после прошивки одной заготовки с уменьшением диаметра гильзы на 10% и при частоте вращения валков $n_b=60$ об/мин

Уменьшение овализации с 1,12 до 1,085 и 1,05 при прошивке на действующих оправках оказало заметное влияние на уменьшение диаметра прокатываемых гильз со 140 мм до 138,5 мм и 137 мм соответственно. По результатам замеров толщин стенок и наружных диаметров полученных гильз разностенность передних концов изменялась от 0,8 мм до 2,4 мм, задних концов – от 1,0 мм до 1,8 мм. Максимальная разностенность по переднему концу соответствует минимальному коэффициенту овализации ($\xi=1,06$), поскольку малая овализация способствует повышенному скольжению металла заготовки-гильзы относительно валков в тангенциальном направлении конуса раскатки, и ухудшает условия выхода переднего конца гильзы из очага деформации.

Средний размер гильз, полученных с использованием действующих оправок, составил 140,0×12,8 мм.

Прошивка с использованием экспериментальных оправок с кольцевой выточкой осуществлялась на следующих режимах: частота вращения валков 100 об/мин, обжатие перед носком оправки 11,5%, коэффициент овализации 1,085-1,12. Величина нагрузки на привод стана при этом снизилась до 2,7 кА, а коэффициент осевой скорости составил $\eta_0 \approx 0,75$. Стойкость экспериментальных оправок оказалась значительно выше, и позволила завершить первую опытно-

промышленную прокатку без замены оправки. На рисунке 4.5 показана опытная оправка после прошивки на ней 7 заготовок.

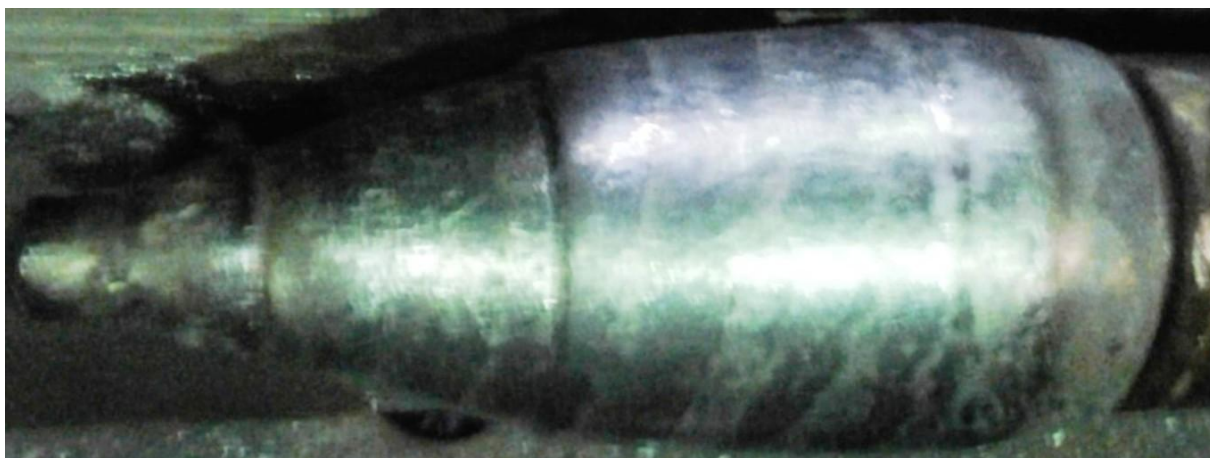


Рисунок 4.5 – Экспериментальная оправка диаметром 110 мм после 7 проходов

Величина разностенности передних концов гильз, прошитых на экспериментальной оправке, оказалась выше, чем на действующих оправках. Причиной повышенной разностенности, вероятно, стало наличие прямого гребня на кольцевой выточке оправки, способствующего интенсификации деформации на ее калибрующем участке. Повышенная деформация на калибрующем участке оправки ухудшила условия раскатки стенки гильзы.

Средний размер гильз, полученных с использованием экспериментальной оправки, составил $136,0 \times 12,0$ мм.

В ходе проведения первой опытной прокатки проблем, связанных с работой и износом линеек, не выявлено (рисунок 4.6).

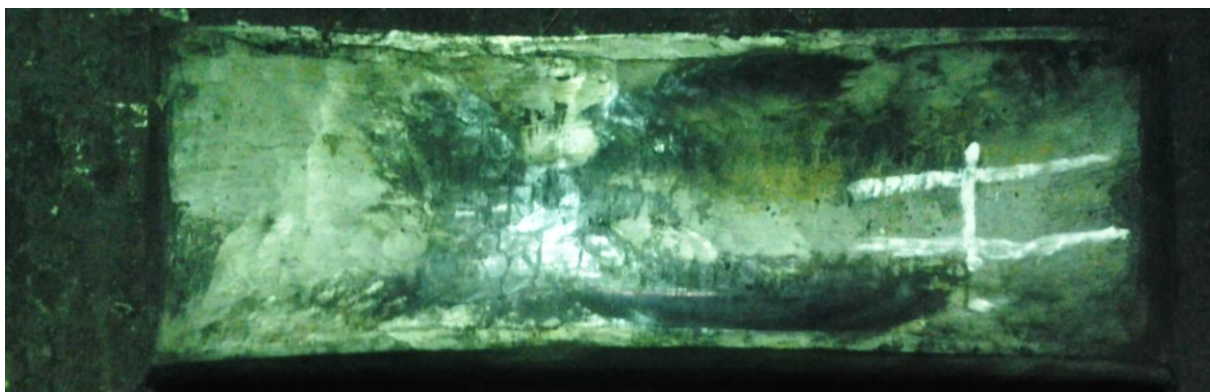


Рисунок 4.6 – Нижняя линейка прошивного стана после первой опытной прокатки

Проблем связанных с работой и износом валков так же не выявлено. Однако на наружной поверхности гильз имелись дефекты от «бобышек», нанесенных на входные конуса валков (рисунок 4.1 а), при этом, исходя из анализа изменения коэффициента осевой скорости и стабильного протекания первичного и вторичного захватов, существует резерв тянущих сил трения, поэтому целесообразно отказаться от «бобышки» в пользу кольцевой нарезки (рисунок 4.1 б).

По причине повышенной разностенности гильз на переднем конце во второй опытно-промышленной прокатке экспериментальная оправка прошивного стана была скорректирована. Прямой гребень – упразднен путем смещения точки сопряжения поверхности кольцевой выточки с началом калибрующего участка оправки (рисунок 4.3 в).

Целью второй опытной прокатки на прошивном стане было получение гильз размером 138,0-140,0×12,0 для дальнейшей их раскатки в трубы с конечным размером 114,0×8*0 мм. Прошито 49 заготовок, в том числе 29 заготовок из стали 20 и 20 заготовок из стали 13ХФА.

Из 29 прошитых заготовок из стали 20 – 27 прошито на экспериментальной оправке.

При переходе на прошивку заготовок из стали 13ХФА произвели замену экспериментальной оправки на такую же новую и осуществили прошивку 20 заготовок.

На рисунке 4.7 показан внешний вид опытных оправок извлеченных из стана после прошивки 27 заготовок из стали 20 длиной 1800 мм и 20 заготовок из стали 13ХФА длиной 1740 мм. Для сравнения показана штатная оправки после прошивки 2 заготовок из стали 20 (рисунок 4.7 в).

Из рисунка 4.7 а и б, видно, что по состоянию наружной поверхности ресурс экспериментальных оправок не исчерпан. Замену первой экспериментальной оправки осуществили в связи с переходом на прошивку заготовок из легированной марки стали 13ХФА. Таким образом, результаты второй опытной прокатки подтвердили выводы о повышенной износостойкости

экспериментальных оправок. Такие оправки могут быть рекомендованы к использованию при прошивке НЛЗ в гильзы как с уменьшением диаметра, так и для всех других режимов прошивки.



Рисунок 4.7 – Оправки прошивного стана: а – экспериментальная после прошивки 27 заготовок из стали 20; б – экспериментальная после прошивки 20 заготовок из стали 13ХФА; в – действующая после прошивки 2 заготовок из стали 20

Средний размер гильз, полученных с использованием экспериментальных оправок, во время второй опытной прокатки составил $138,0 \times 12,0$ мм.

При прошивке с использованием экспериментальных оправок без прямого гребня резко снизилась стойкость линеек, в частности наблюдался локальный износ последних на входных участках, на поверхности линеек были отчетливо видны следы насечки, которые трансформировались с входного конуса валка на поверхность заготовки, а с нее – на поверхность линеек. Максимальный износ наблюдался в области пережима валков. Изношенная поверхность линеек была покрыта мелкой сеткой разгара (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Нижняя линейка прошивного стана после второй опытной прокатки

Касаясь закономерности выработки линеек, следует отметить, что по характеру износа условия работы линеек в период второй опытной прокатки были, очевидно, тяжелее, чем в первой опытной прокатке, поскольку пятно износа линеек смещено в область пережима и далее за него.

Характер износа линеек прошивного стана, при прочих равных условиях, во многом определяется профилем и работой оправки, следует признать более целесообразным использование для прошивки гильз первоначальной конструкции оправки, с размещенной на рабочем участке кольцевой выемкой, ограниченной «прямым» и «обратным» гребнями.

Наличие короткого участка с «прямым» гребнем у оправки интенсифицирует осевую и уменьшает поперечную составляющие деформации металла в очаге деформации, что в конечном итоге способствует повышению стойкости как оправки, так и линеек.

Проблем связанных с работой и износом валков во время второй опытной прокатки не выявлено. При этом, по прежнему, сохранился резерв тянущих сил трения, о котором можно судить по стабильному протеканию процесса прошивки и хорошим условиям первичного и вторичного захватов заготовки. В следующей опытной прокатке с целью упрощения улучшения качества наружной поверхности гильз решено отказаться от элементов стимулирующих первичный и вторичных захваты, т.е. выполнить входной участок валков гладким (рисунок 4.1 в).

Целью третьей опытной прокатки на прошивном стане было получение тонкостенных гильз размером 146,0×9,0 для последующей раскатки в трубы наиболее трудоемкого тонкостенного сортамента с окончательными размерами 108,0×6,0 мм. В гильзы было прошито 37 заготовок из стали 20.

Калибровка оправок третьей опытной прокатки скорректирована на основе анализа работы оправок при первой и второй опытно-промышленных прокатках: кольцевая выточка с «прямым» и «обратным» гребнями, но величина и угол конусности прямого гребня уменьшены (гребень выполнен более пологим). Кроме того по результатам анализа недоката с первой опытной прокатки, о котором будет сказано ниже, был увеличен диаметр носка оправки до 35 мм (вместо 30 мм).

В таблице 4.1 представлены фиксируемые параметры на прошивном стане.

Таблица 4.1 – Технологические и настроечные параметры процесса прошивки заготовок при третьей опытной прокатке

№ гильзы	D _з , мм	D _г , мм	l _г , м	Тип оправки	a, мм	b, мм	c, мм	Угол подачи, град	Частота вращения, об/мин	Нагрузка, на двигателях, кА
1	156	154-155	4.5	122 ш	132	145	450	12	90	2,5-2,6
2	156	154	4.8	122 ш	130	141	460	12	90	2,6
3	156	154-155	5.1	122э	130	141	460	12	90	2,6
4	156	145	6.6	122э	128	142	472	12	90	3,3
5	156	145	6.3	122э	128	142	465	12	90	3,3-3,5
6	156	145	5.96	122э	128	142	460	12	90	3,3-3,5
7	156	145	5.96	122э	128	142	460	12	90	перегруз*
8	156	146-147	5.99	122э	128	142	465	12	90	3,4-3,5
9	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2
10	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2
11	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2
12	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2
13	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2
14	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2
15-37	156	146-147	5.92	122э	129	142	465	12	90	3,2

По итогам прокатки проблем, связанных с работой и износом линеек, не выявлено.

* Заготовка подстыла вследствие задержки при закатке в прошивной стан

Проблем связанных с работой и износом валков так же не выявлено.

Во время первой и третьей опытных прокаток в очаге деформации прошивного стана были получены недокаты, с целью изучения состояния осевой зоны НЛЗ и напряженно-деформированного состояния при прошивке.

После обмера из недоката с первой опытной прокатки был вырезан сектор, ограниченный взаимно перпендикулярными плоскостями реза, проходящими по линиям валка и линейки (рисунок 4.9). Визуальный осмотр и обмеры внутреннего расположения прокатного инструмента показали следующее:

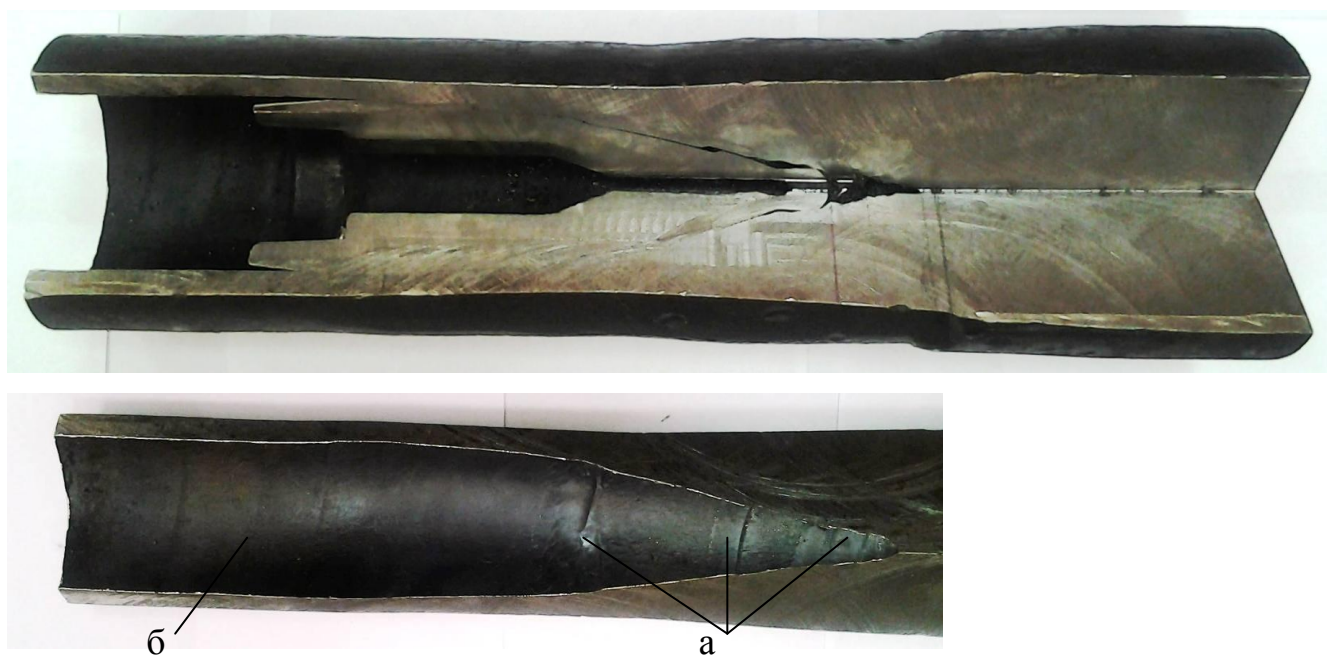


Рисунок 4.9 – Раскроенный недокат с первой опытно-промышленной прокатки и формирование стенки гильзы: а – на оправке; б – без оправки

- наличие продольной повторяющейся несплошности в осевой зоне заготовки в виде рыхлости и пустот, диаметр которых составляет 2-4 мм;
- трансформирование осевой несплошности заготовки в осевую полость при обжатии последней участками входных конусов валков. Длина осевой полости составляет 35 мм, ее диаметр перед носком оправки составляет 12-15 мм. Из рисунка 4.9 видно, как носик оправки внедряется в осевую полость и сдвигает краевые зоны последней в направлении, перпендикулярном направлению прошивки, при этом на участке между носком оправки и гребнями валков

образуется, область с сжимающими напряжениями, способствующая уплотнению металла. Несмотря на проявленный эффект Маннесмана, в опытной прокатке не зафиксировано гильз с дефектами на внутренней поверхности. Это наглядно подтверждает рисунок 4.9 *а* и *б*, показывающий отсутствие дефектообразования на пути формирования стенки гильзы в очаге деформации, как на оправке, так и без нее.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают известное положение (касающееся в первую очередь прошивки непрерывнолитой заготовки), что при относительно высокой степени чистоты металла осевой зоны, отсутствии неметаллических включений, а так же грубых радиально ориентированных трещин, возможна косовалковая прошивка заготовки (имеющей несплошности и пустоты в осевой зоне), без образования дефектов на внутренней поверхности гильзы. В практике трубопрокатного производства имеются многочисленные случаи поставки и успешной прокатки труб из непрерывнолитой заготовки со сквозными отверстиями в центральной зоне заготовки, т.е. фактически с уже сформированной осевой полостью. Тем не менее, изложенное не исключает известного положения о необходимости вести процесс прошивки с возможно меньшими обжатиями перед носком оправки.

Торможение заготовки было осуществлено при минимальном выдвигении оправки за пережим (100 мм), т.е. в условиях, благоприятствующих образованию осевой полости перед носком оправки. В ходе опытной прокатки осуществляли прошивку с выдвигением оправки за пережим на 117 мм, в этом случае носок оправки приближался к области, соответствующей расположению обжимных гребней валков и сокращался участок, на котором происходит формирование осевой полости (рисунки 2.13 и 4.9), одновременно снижались энергосиловые параметры процесса прошивки. Таким образом, корректирующим действием для устранения образования осевого разрушения заготовки является изменение расположения обжимных гребней на валках или увеличение диаметра носка оправки.

Из рассмотрения рисунка 4.9, представляющего формирование внутренней поверхности гильзы на оправке, видны две складки, образующиеся от действия конусных участков, ограничивающих кольцевую выемку. Одна из складок полностью раскатывается на соответствующем кольцевом участке оправки, при раскатке другой, прилегающей к выходному участку оправки, возникает опасность образования возможных порезов или закатов. Поэтому целесообразно скорректировать профиль оправки. Вариантами корректирующего действия могут быть изменение профиля прямого гребня на кольцевой выемке оправки, либо его исключение посредством выполнения сопряжения поверхности выточки с поверхностью калибрующего конуса оправки, что и было сделано в последующих опытных прокатках.

Еще один недокат был получен во время третьей опытной прокатки.

Изучении недоката, как и в первом случае показало наличие выраженной пористости, а так же рыхлости и пустот центральной зоны, которые достаточно четко выражены на торцевом поперечном и меридиональном разрезе (рисунок 4.10). Визуально диаметр зоны центральной пористости составляет 35-40 мм.

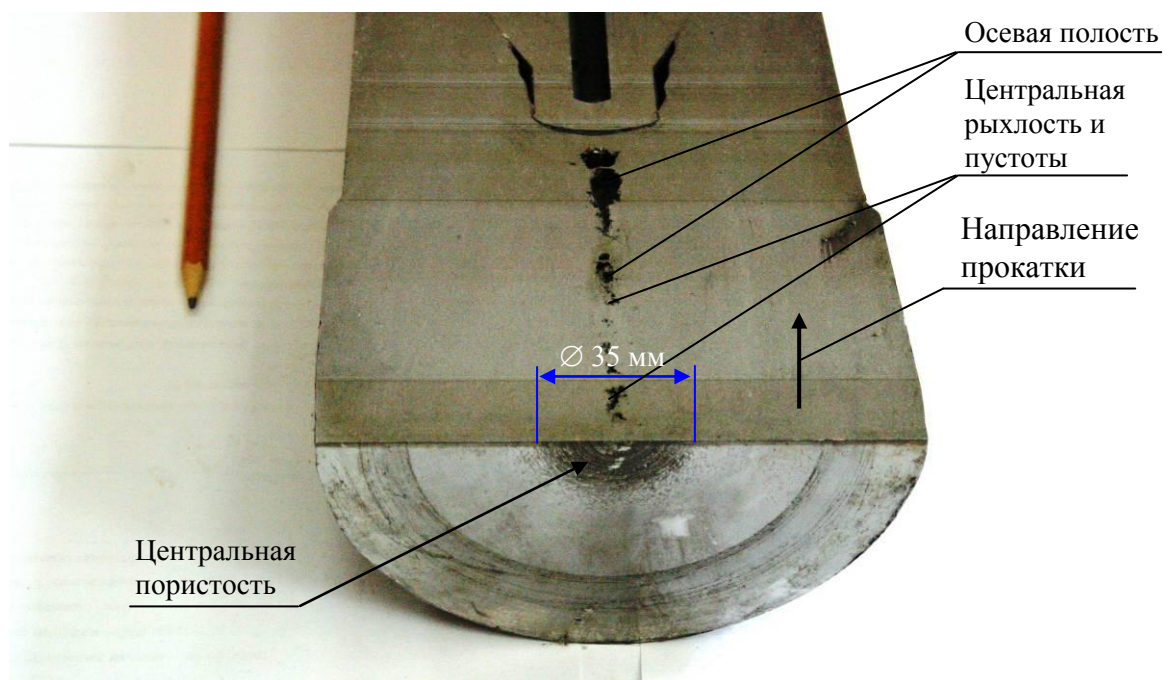


Рисунок 4.10 – Торцевая пористость НЛЗ диаметром 156 мм (сталь 20) с центральной рыхлостью диаметром 35-40 мм и пустотами в осевой зоне

Наличие центральной пористости и ее размеры облегчают процессы внедрения и последующей прошивки носком оправки металла заготовки в сравнении с прошивкой катаной заготовки. Это обстоятельство улучшает, при прочих равных условиях, вторичный захват, самоцентрирование заготовки-гильзы в процессе прошивки и способствует повышению качества прокатываемых гильз. Кроме того, представляется возможность увеличить диаметр носка оправки (в пределах диаметра осевой пористости), а так же радиус торцевой сферы носка (выполнить торец носка менее выпуклым), без существенного увеличения лобового сопротивления носового участка оправки.

В новом варианте конструкции оправки диаметр ее носка был увеличен относительно размеров штатной и первых опытных оправок с 30 мм до 35 мм, а радиус сферы торца – с 20 мм до 40 мм. Использование опытной оправки с измененными конструктивными параметрами носка преследовало так же цель увеличить эффект действия осевых подпирющих сил со стороны носка оправки (площадь поперечного сечения носка увеличилась в 1,4 раза относительно действующей оправки) на слои металла центральной зоны заготовки, уплотнить металл этой зоны и уменьшить дефектообразование на внутренней поверхности гильз. Эффект использования скорректированной оправки рассматривали при сравнении двух недокатов, в которых использовались экспериментальные оправки с различными диаметром и радиусом закругления торцевой сферы носка (таблица 4.2 и рисунок 4.11).

Общим для двух сравниваемых заторможенных заготовок является наличие пористости в центральной зоне заготовки, которая по мере увеличения обжатия во входном конусе, включая деформацию гребневыми участками валков, трансформируется в осевую рыхлость, а в области носка оправки – в осевую полость. При использовании опытной оправки с диаметром носка 30 мм и радиусом закругления торца 20 мм осевая полость сохраняется до сечения носка, и процесс ее раскатки проходит путем деформирования стенок полости боковой поверхностью оправки (рисунок 4.9).

Таблица 4.2 – Технологические, настроечные и конструктивные параметры очага деформации и оправок прошивного стана при изготовлении гильз размером 136×12,0 мм и 146×9,0 мм из НЛЗ диаметром 156 мм

№ заготовки	Длина заготовки, мм	Диаметр гильзы, мм	Тип оправки	Расстояние между валками, мм / Обжатие в пережиме, %	Расстояние между линейками, мм / Коэффициент овализации	Выдвижение оправки, мм	Угол подачи, град	Частота вращения валков, об/мин.	Температура заготовки, °С	Коэффициент осевой скорости	Диаметр носка оправки, мм	Радиус сферы торца, мм
20	1410	135,75	110-э	126/19,3	137/1,08	100	12	100	1160-1170	0,65	30	20
15	1200	146,2	122-э	129/17,3	142/1,10	124	12	90	1160-1170	0,60-0,62	35	40

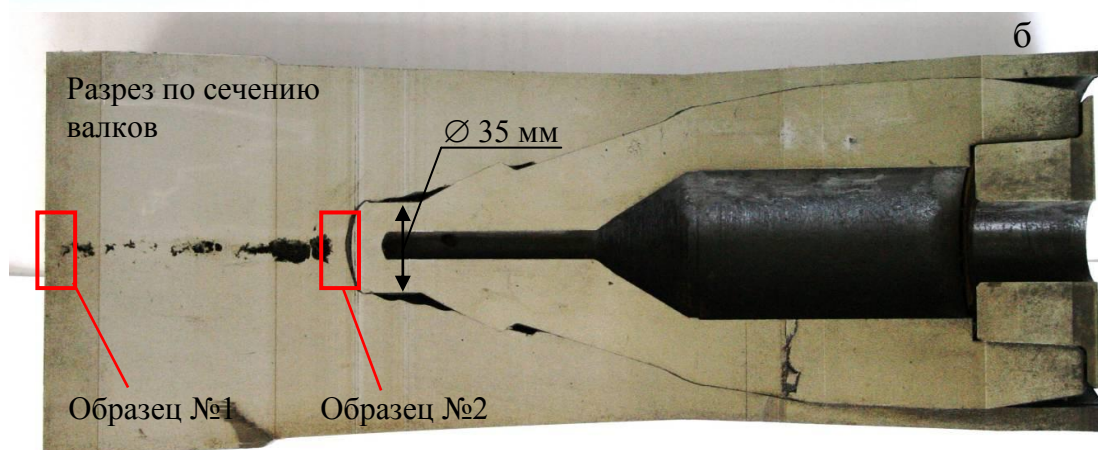
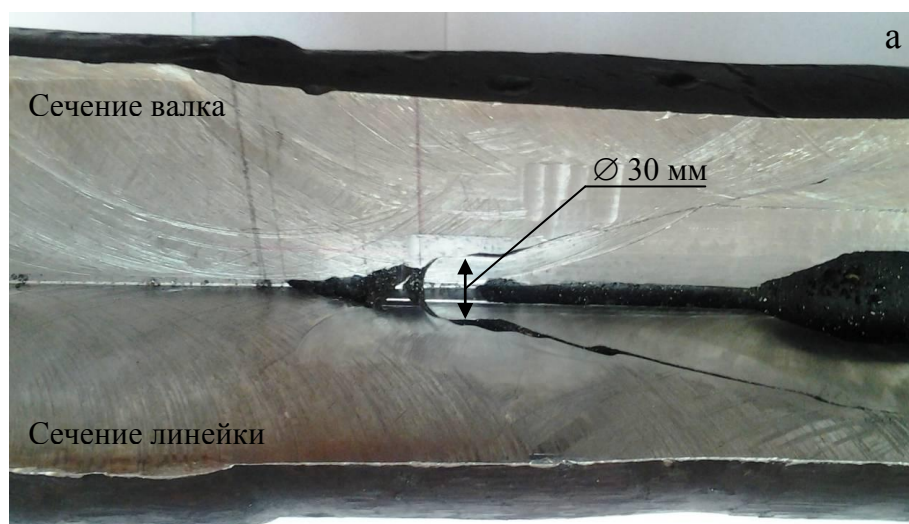


Рисунок 4.11 – Формирование внутренней поверхности гильзы при использовании экспериментальных оправок: а – с диаметром носка 30 мм и радиусом скругления торца носка 20 мм; б – с диаметром носка 35 мм и радиусом скругления торца носка 40 мм

Из рассмотрения недокатов по сечению, проходящему через плоскость валков (рисунок 4.11), следует, что осевая полость перед носком оправки не «закрывается» и стенки ее проходят стадию раскатки частично боковой поверхностью носка, и затем поверхностью рабочего конуса оправки.

Использование экспериментальной оправки с повышенными диаметром носка и радиусом сферы торца носка вносит определенные качественные изменения в характер формирования и механизм деформирования осевой зоны заготовки (рисунок 4.11 б). В частности, увеличение диаметра носка до величины 35 мм, соизмеримой с диаметром пористости осевой зоны заготовки, а так же выполнение торца носка более плоским, позволило увеличить подпирающие усилия со стороны оправки на металл осевой зоны настолько, чтобы «заккрыть» передний край полости перед носком оправки и, более того, образовать непосредственно перед носком оправки буферную зону, состоящую из «неразрушенной» прослойки металла.

Как следует из рассмотрения рисунка 4.11 б, осевая пористость, характерная для литой структуры заготовок, по мере приложения нагрузки со стороны валков прошивного стана превращается в осевую рыхлость, а после обжатия гребнями – в открытую осевую полость, которая закрывается непосредственно перед носком оправки с образованием граничного слоя относительно «здорового» металла. В данном случае можно предположить следующие версии: граничный слой сформировался от действия осевых подпирающих сил со стороны носка оправки, либо представляет случайный неразрушенный фрагмент центральной зоны металла заготовки, попавший в поле разреза недоакта в области перед носком оправки.

Для установления истинной причины образования граничного слоя «здорового» металла был проведен металлографический анализ двух вырезанных из осевой зоны НЛЗ образцов (рисунок 4.11 б): образец №1 представляет срез недеформированной пористой центральной зоны, а образец №2 такой же срез, но продеформированный перед носком оправки центральной части НЛЗ представляющей сформированную прослойку неразрушенного металла.

При исследовании макро- и микроструктуры образцов было установлено, что в центральной зоне НЛЗ образца №1 наблюдалась центральная пористость, поры размерами от 0,05 до 0,3 мм, округлой формы и расположены хаотично. В образце №2 в приконтактном с оправкой слое металла полость отсутствовала, а пористость начиналась на расстоянии 3-4 мм от места контакта с носком оправки, причем размеры ее не превышали 0,02-0,05 мм. Микроструктура металла образцов №1 и №2 так же различна (рисунок 4.12), представляет ферритно-перлитную структуру с участками видманштеттова феррита, в образце №2 более дисперсная (рисунок 4.12 б), что обусловлено повышенной плотностью дислокаций, возникающих в процессе деформации. Данный факт указывает на то, что при прошивке процесс закрытия полости перед носком оправки сопровождался уплотнением металла и «залечиванием» изначально имеющейся пористости осевой зоны НЛЗ. Поэтому найденное техническое решение, учитывая удовлетворительные условия вторичного захвата, можно рассматривать и использовать в целях повышения качества внутренней поверхности гильз и труб.

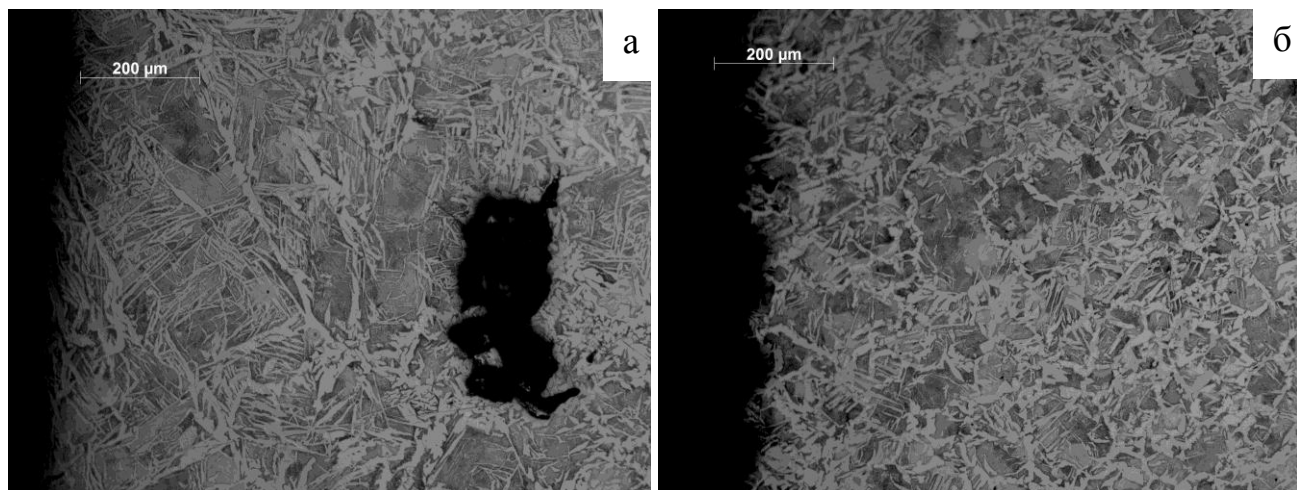


Рисунок 4.12 – Микроструктура металла недоката (рисунок 4.9 б) после травления в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты, 100×: а – образец №1;
б – образец №2

Представленные на рисунке 4.11 и 4.12 фотографии подтверждают известные утверждения о положительном влиянии подпирающих усилий со стороны оправки в очаге деформации на величину критического обжата и качество внутренней поверхности гильз и труб.

В частности, И.А. Фомичев [41] отмечает, что наличие оправки в очаге деформации и подпирающие усилия с ее стороны приводят к явному уменьшению или даже полному устранению действия растягивающих напряжений, вызывающих разрушение сердцевины заготовки. Исследованиями, проведенными в работах [30, 42] показаны увеличение критического обжата в процессах косовалковой прошивки с использованием различных калибровок оправок прошивного стана. Следует отметить, что в упомянутых источниках процесс прошивки касался использования катаных заготовок со сформированной, деформационно проработанной в станах продольной прокатки «здоровой» центральной зоной заготовки (с наличием различного рода и размеров неметаллических включений).

В результате проведенных исследований и анализа их результатов получена новая информация о характере процесса прошивки как на безоправочном, так и оправочном участках очага деформации непрерывнолитой заготовки, которая требует систематизации и расширения испытаний на предмет целенаправленного практического использования.

С целью определения характера износа экспериментальной оправки, применявшейся в третьей опытной прокатке, одна из половин недоката была дополнительно раскроена на два сектора по плоскости линеек таким образом, что одна сторона представляет рез по плоскости валков, другая по плоскости линеек.

На рисунках 4.13 и 4.14 показаны часть оправки прошивного стана, извлеченной из заторможенной заготовки-гильзы, а так же фрагмент собственно заготовки-гильзы, раскроенной по плоскости валков и линеек, с видом внутренней поверхности меридионального сечения.



Рисунок 4.13 – Фрагмент оправки прошивного стана, извлеченной из заторможенной заготовки-гильзы



Рисунок 4.14 – Фрагмент заготовки-гильзы

По совместному рассмотрению выше приведенных рисунков, возможно выполнить предварительный анализ, касающийся характера и интенсивности износа различных участков оправки прошивного стана. Из рассмотрения, очевидно, что первая треть оправки (носовой ее участок) протяженность до 100 мм нагружен незначительно: носок оправки, действуя подобно пуансону прошивного пресса, осуществляет прошивку центральной зоны заготовки. При этом торец носка оправки воспринимает осевую нагрузку со стороны встречного перемещения металла заготовки. Под действием значительных осевых усилий на торце носка оправки формируется оксидная прослойка в виде зонтика, предохраняющая торец носка от разрушения. Боковая поверхность цилиндрического тела носика длиной 25 мм с металлом заготовки практически не контактирует и в деформировании и формировании внутренней поверхности гильзы не участвует. Это видно из рассмотрения профиля внутренней

поверхности гильзы, соответствующей расположению носика оправки, на которой проступает не раскатанный след, нанесенный на поверхность металла торцем носика (рисунок 4.14). Увеличение диаметра гильзы на данном участке обусловлено действием радиально-растягивающих напряжений в центральной зоне, способствующих увеличению внутреннего диаметра полых толстостенных изделий при косовалковой прокатке. По этой же причине неполную загрузку получает последующий за носком конусный рабочий участок оправки, на котором образуется нерабочий участок («мертвая зона») протяженностью около 15-20 мм. Это убедительно подтверждает рассмотрение рисунка 4.11, на котором четко проявлено наличие «мертвых зон» (даже в сечении, проходящем через плоскость валков). В итоге, из первой ступени рабочего конуса оправки длиной 35 мм с нагрузкой работает участок протяженностью около 20 мм. Из дальнейшего рассмотрения характера формоизменения внутренней поверхности гильзы при раскатке стенки на оправке (рисунок 4.11) отмечается следующий нерабочий участок, расположенный за сечением, проходящим через обратный гребень оправки и образующий новую «мертвую зону» протяженностью 25-35 мм. Таким образом, профилировка переднего носового участка оправки, протяженностью 90-100 мм выполнена так, что на данном участке активно работает торец оправки, воспринимающий осевое усилие со стороны центральной зоны металла заготовки, и укороченный участок первого рабочего конуса оправки, воспринимающий как осевое, так и радиальное усилие металла. Особенностью работы носового участка является выраженная дробность деформации, и сравнительно большая высота (толщина) осаживаемого валками металла, способствующие снижению радиальной составляющей деформации, а так же хорошие условия поверхностного водоохлаждения и внутреннего теплоотвода избыточной тепловой энергии. Поэтому на носовом участке оправки протяженностью до 100 мм после прошивки более 30 заготовок (третья опытная прокатка) не обнаружено практически никаких следов износа (рисунок 4.13). Отмеченный характер распределения нагрузки носового участка оправки в совокупности с наличием изначальной пористости и образованием полости в осевой зоне НЛЗ

при ее косовалковой прошивке облегчают вторичный захват и обеспечивают определенный резерв тянущих сил трения в процессе прошивки.

Рассматривая формоизменение стенок гильзы на оправке, отмечается, что интенсивная деформация и формирование тонкостенной гильзы начинаются с сечения, отстоящего от торца носка оправки на 100 мм и более, и достигают наибольших значений на отметке, соответствующей длине оправки 120-140 мм. Именно на данном участке на поверхности оправки проявляются следы износа.

После прохождения гильзой гребневого участка оправки следует продолжение рабочего конуса оправки, на котором осуществляют деформацию раскатки в тонкостенную гильзу (рисунок 4.11 и 4.14).

Процесс прокатки тонкостенных изделий характеризуется большими усилиями и энергоемкостью, определяемыми развитием и действием (по мере утонения стенки) подпирающих сил трения. Применительно к рассматриваемому процессу на рабочем и части калибрующего участках, на которых осуществляется деформация раскатки тонкостенной гильзы, процесс сопровождается высокими значениями усилия металла на прокатный инструмент.

Качественное изменение наглядно проявляется при рассмотрении зависимости высотной деформации, выраженной через коэффициент k .

Коэффициент высотной деформации может быть представлен как отношение $\frac{S_{хл}}{S_{хв}}$, где $S_{хл}$ – толщина стенки гильзы в текущем сечении x , определенная по плоскости линеек; $S_{хв}$ – толщина стенки гильзы в текущем сечении x , определенная по плоскости валков.

Для определения $S_{хл}$ и $S_{хв}$ была использована возможность обмера толщин стенок гильзы на фрагменте заторможенной заготовки гильзы (рисунок 4.14), определенные в плоскости линеек ($S_{хл}$) и в плоскости валков ($S_{хв}$) с шагом замеров 20 мм.

На рисунке 4.15 показаны зависимости изменения толщины стенки гильзы по очагу деформации на оправке, замеренные в плоскости валков (рисунок 4.15, кривая а) и линеек (рисунок 4.15, кривая б), а так же характер изменения

коэффициента высотной деформации k на оправочном участке очага деформации прошивного стана (рисунок 4.15, кривая в).

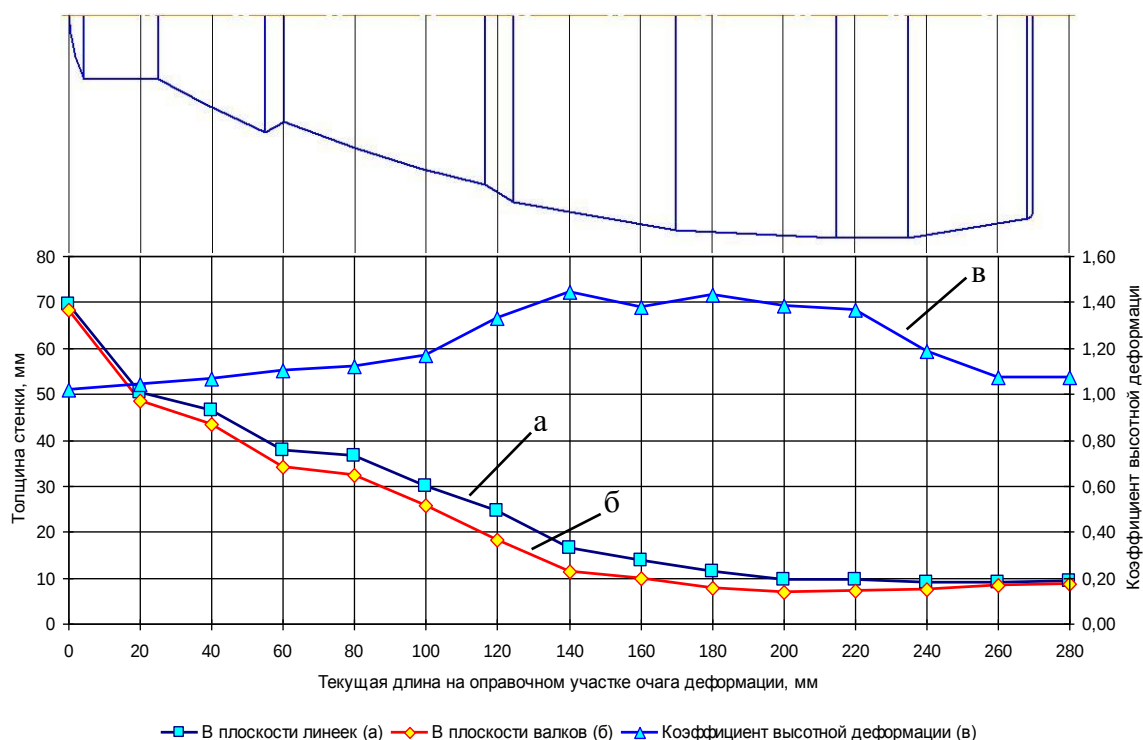


Рисунок 4.15 – Характер изменения толщины стенки заготовки-гильзы и коэффициента высотной деформации k на оправочном участке очага деформации прошивного стана

Рассмотрение изменения коэффициента k подтверждает сохранение высокого уровня усилий металла на выходном оправочном участке очага деформации.

Особенно интенсивно работает гребневый участок, расположенный на оправке в диапазоне 120-140 мм ее текущей длины от торца носика. Поверхность оправки, особенно на коротком участке гребня, покрыта оксидной пленкой, просматриваются локальные следы сварки с металлом заготовки, а также следы интенсивного скольжения металла относительно тела оправки.

Поскольку интенсивная деформация стенки гильзы осуществлена участками оправки повышенного диаметра и объема, упомянутые части оправки менее разогреваются и, следовательно, меньше подвергаются износу, о чем

свидетельствует состояние наружной поверхности выходной стороны оправки (рисунок 4.13).

При определении геометрических размеров недоката с третьей опытно-промышленной прокатки были определены толщины стенок гильзы в 8 сечениях периметра. При этом средняя толщина стенки составила 8,95 мм при разности между максимальной (9,43 мм) и минимальной (8,63 мм) толщиной стенки равной 0,8 мм ($\approx 0,9\%$). Средний диаметр гильзы, согласно замерам, составил 346,2 мм.

В целом, по результатам проведенных опытных прокаток на прошивном стане, новая калибровка прокатного инструмента показала свою работоспособность и пригодность для ведения процесса прошивки с уменьшением диаметра гильзы, удовлетворительные результаты в плане кинематики процесса прошивки, износостойкости оправок и линеек, а также в обеспечении качества внутренней поверхности гильз.

4.2.2 Исследование обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы

Начиная со второй опытно-промышленной прокатки, исследования проводились как на прошивном, так и на трехвалковом обкатном стане винтовой прокатки.

При производстве труб размером 114,0×8,0 мм (вторая опытная прокатка) из НЛЗ диаметром 156 мм из стали 20 и легированной стали 13ХФА технология обкатки черновой трубы предусматривала незначительное уменьшение диаметра черновой трубы (размер подката 128,0×8,0, размер черновой трубы на выходе из стана 127,5×7,6 мм) и по сути была реализована технологическая схема «размер в размер».

При производстве тонкостенных труб размером 108,0×6,0 мм (третья опытная прокатка) из НЛЗ диаметром 156 мм из стали 20 технология обкатки черновой трубы предусматривала уменьшение диаметра черновой трубы на 6% (размер подката 136,0×6,0 мм, размер черновой трубы на выходе из обкатного стана 128,0×6,0 мм).

В обоих случаях использовались одинаковые валки (рисунок 4.16) и оправки обкатного стана, отличающиеся только диаметром (рисунок 4.17).



Рисунок 4.16 – Экспериментальный валок обкатного стана



Рисунок 4.17 – Экспериментальная оправка обкатного стана

Во второй опытно-промышленной прокатке исследование нового процесса обкатки имело целью – определение возможности уменьшения диаметра черновой трубы относительно диаметра трубы, задаваемой в стан и величины «разбоя»² получаемого после обкатки по новой технологии (подтверждение результатов компьютерного моделирования).

Необходимость проведения такого анализа состояла в том, что калибровка оправки обкатного стана имеет, как уже было отмечено, в отличие от

² Под «разбоем» понимается разница между внутренним диаметром черновой трубы после риллингования и диаметром оправки обкатного стана.

действующего, классического, варианта, дополнительный участок обратного конуса, на котором происходят обкатка стенки и уменьшение диаметра трубы. При этом равнодействующая усилий со стороны металла, действующих на оправку на данном участке, направлена противоположно равнодействующей усилий, действующих на другие участки оправки и направлена против хода прокатки (рисунок 2.19 б). Поэтому суммарное осевое усилие, действующее со стороны оправки на упорный стержень, должно уменьшаться по мере увеличения длины участка обратного конуса оправки и угла его образующей. Уменьшение осевой нагрузки на упорный стержень способствует уменьшению стрелы прогиба и вибрации последнего и, следовательно, стабилизирует положение оправки относительно горизонтальной оси проката.

Вторым фактором, оказывающим позитивное воздействие на точность труб, является наличие на оправке дополнительного цилиндрического «полирующего» участка. Совокупное действие данных факторов должно способствовать повышению геометрической точности труб и, возможно, сокращению концевой обрезки.

Сравнительные схемы и механизмы деформирования новой и действующей («классической») технологии изображены на рисунке 4.18.

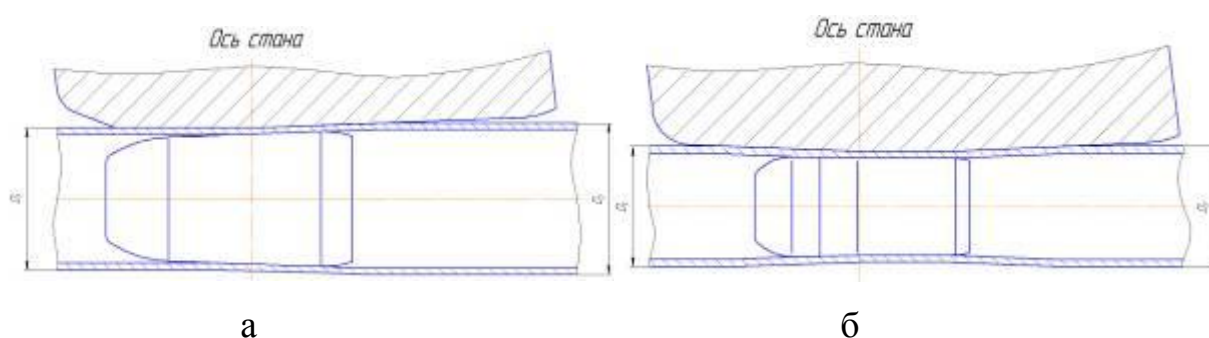


Рисунок 4.18 – Схемы очага деформации обкатного стана: а – по «классической» технологии; б – по предложенной технологии

Настройка обкатного стана приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Настроечные параметры обкатного стана

Диаметр подката $D_{ч.т.}$, мм	Диаметр трубы D_t , мм	Толщина стенки трубы S_t , мм	Козф. вытяжки K	Max длина трубы, м	Диаметр оправки $D_{опр.о.с.}$, мм	Угол подачи $\alpha_{о.с.}$, °	Расст. между валками (диаметр пробки) $a_{о.с.}$, мм	Выдвижение оправки за ось стана $c_{о.с.}$, мм	Частота вращения валков n , об/мин.
128	128	7,58	1,05	12,0	106	7	117,7	110,95	80-90

Процесс обкатки черновых труб по разработанной технологии протекал стабильно во всех стадиях, без каких-либо отклонений. Температура черновой трубы перед задачей в обкатной стан составляла 950°C. Величина нагрузки на привод стана колебалась в пределах 1,1-1,2 кА при предельно допустимом уровне 1,8 кА.

В процессе обкатки были получены трубы диаметром 127,5 мм. Далее прокатанные в обкатном стане трубы поступали в 9-клетевой калибровочный стан, в котором деформировались на окончательный размер 114×8,0 мм по действующей на заводе технологии. На конечной стадии проката периодически осуществлялся контроль качества и точности изготавливаемых труб.

Поскольку одним из аспектов исследования новой технологии обкатки черновой трубы, было определение принципиальной возможности ведения процесса с уменьшением (сохранением) диаметра черновой трубы, а так же определение степени возможного редуцирования трубы по диаметру, т.к. процесс обкатки осуществляется в трехвалковом обкатном стане винтовой прокатки, с некоторым обжатием по стенке, не имеющем направляющих линеек, способных ограничивать поперечную составляющую деформации, в ходе опытной прокатки был целенаправленно получен недокат с целью более детального изучения процесса.

Результаты экспериментальных исследований опровергли опасения, связанные с возможной интенсификацией поперечной деформации, увеличением «разбоя» и диаметра трубы (величина «разбоя» черновой трубы, согласно таблице прокатки в действующем процессе обкатки, обеспечивала дополнительные 12-15 мм прироста диаметра) и напротив, подтвердили результаты компьютерного моделирования (фактическая величина «разбоя» не превышала 1,5 мм).

На рисунке 4.19 показан меридиональный разрез заторможенной черновой трубы со второй опытной прокатки. Верхняя граница сечения соответствует месту максимального контакта стенки трубы между валком и оправкой, а нижняя – месту расположения максимальной овальности между валком и оправкой.



Рисунок 4.19 – Меридиональный разрез черновой трубы в очаге деформации обкатного стана, при ведении процесса по схеме «размер в размер»

Обмер недоката показал, что на верхнем участке деформирование трубы происходило с уменьшением диаметра на безоправочном участке входного конуса вала, а так же на участке, соответствующем обратному конусу оправки. Одновременно в процессе обкатки в межвалковом пространстве образовывалась овальность, при этом величины уменьшения диаметра черновой трубы и «разбоя» оказались равными между собой. Такие механизм и закономерность деформирования черновой трубы позволили в процессе обкатки погасить величину «разбоя», характерную для действующей технологии, и сохранить диаметр трубы постоянным, т.е. осуществить прокатку по схеме «размер в размер».

На рисунке 4.20 показан характер изменения толщины стенки вдоль очага деформации при обкатке трубы (шаг сечения составляет 20 мм).

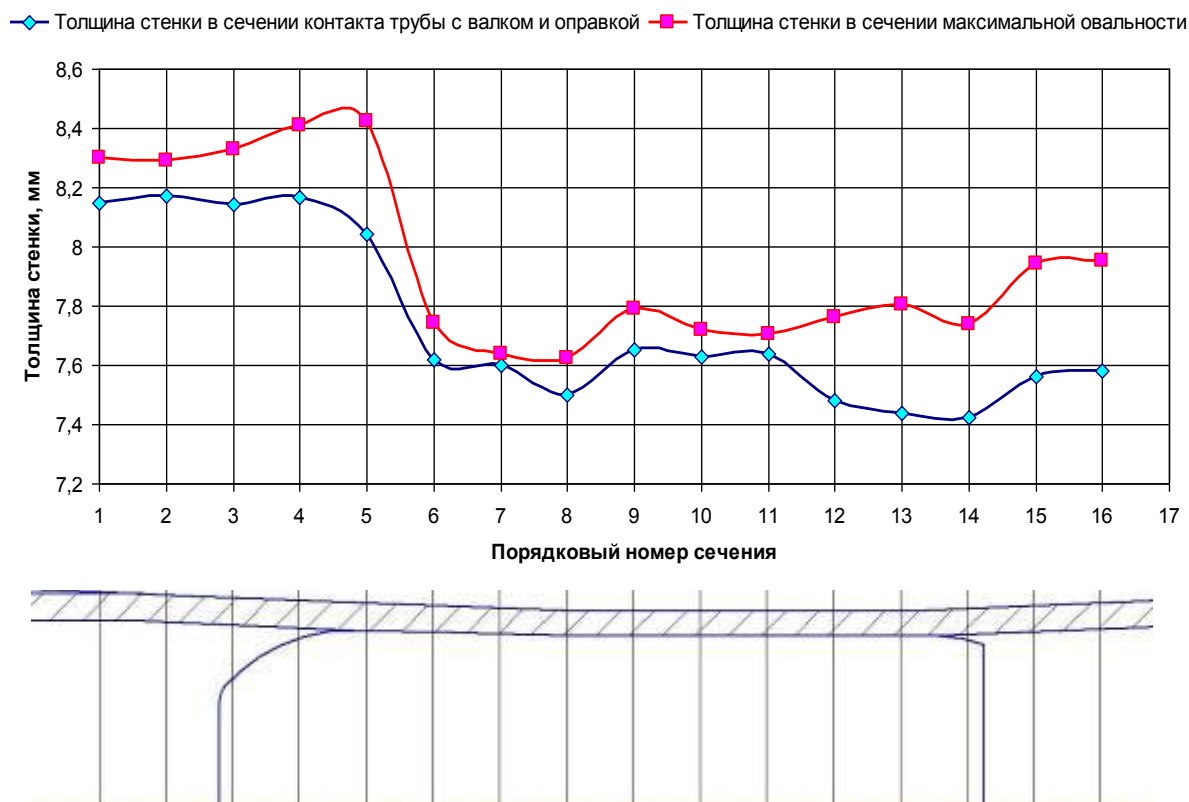


Рисунок 4.20 – Диаграмма изменения толщины стенки трубы в очаге деформации обкатного стана

В начальный период процесса обкатки, начиная от захвата до встречи с оправкой (сечение 1-4) в незакрытых областях очага деформации (сечения выпусков) происходит незначительное утолщение стенки по причине редуцирования трубы в данной зоне. На оправочном участке (сечение 5-9) из-за действия валков и особой формы оправки происходит утонение стенки и изменяется в основном наружная форма трубы вследствие развития поперечной деформации и затекания металла в выпуска. На участке, соответствующем сечениям 9-11 толщина стенки в зоне действия валков практически не изменяется. На последующих участках очага деформации (сечения 12-16) происходит некоторое утолщение стенки из-за трансформации треугольного сечения в круглое.

В третьей опытной прокатке проводилось исследование обкатки черновой трубы с уменьшением диаметра на 6% (со 136,0 мм до 128 мм).

Процесс обкатки протекал стабильно во всех стадиях, без каких-либо отклонений.

Как и во второй опытной прокатке в очаге деформации обкатного стана был целенаправленно получен недокат, который был извлечен из очага деформации и раскроен аналогично недокату со второй опытной прокатки.

На рисунке 4.21 показан меридиональный разрез фрагмента трубы, заторможенной в очаге деформации обкатного стана, при этом верхняя граница сечения соответствует месту максимального контакта стенки трубы с валком и оправкой, а нижняя – месту расположения максимальной овальности между валками и оправкой.



Рисунок 4.21 – Меридиональный разрез черновой трубы в очаге деформации обкатного стана, при ведении процесса обкатки с уменьшением диаметра

Результаты замеров недоката (рисунок 4.22) показали, что наружный диаметр трубы уменьшается на участке очага деформации от захвата трубы валками до пережима валков и практически не изменяется на выходном участке валков. Утолщение стенки трубы на протяжении практически всего очага деформации объясняется некоторым смещением оправки в очаге деформации (неправильная установка). Утолщение стенки незначительно и составляет 0,38 мм (толщина стенки изменяется от 6,35 мм до 6,73 мм).

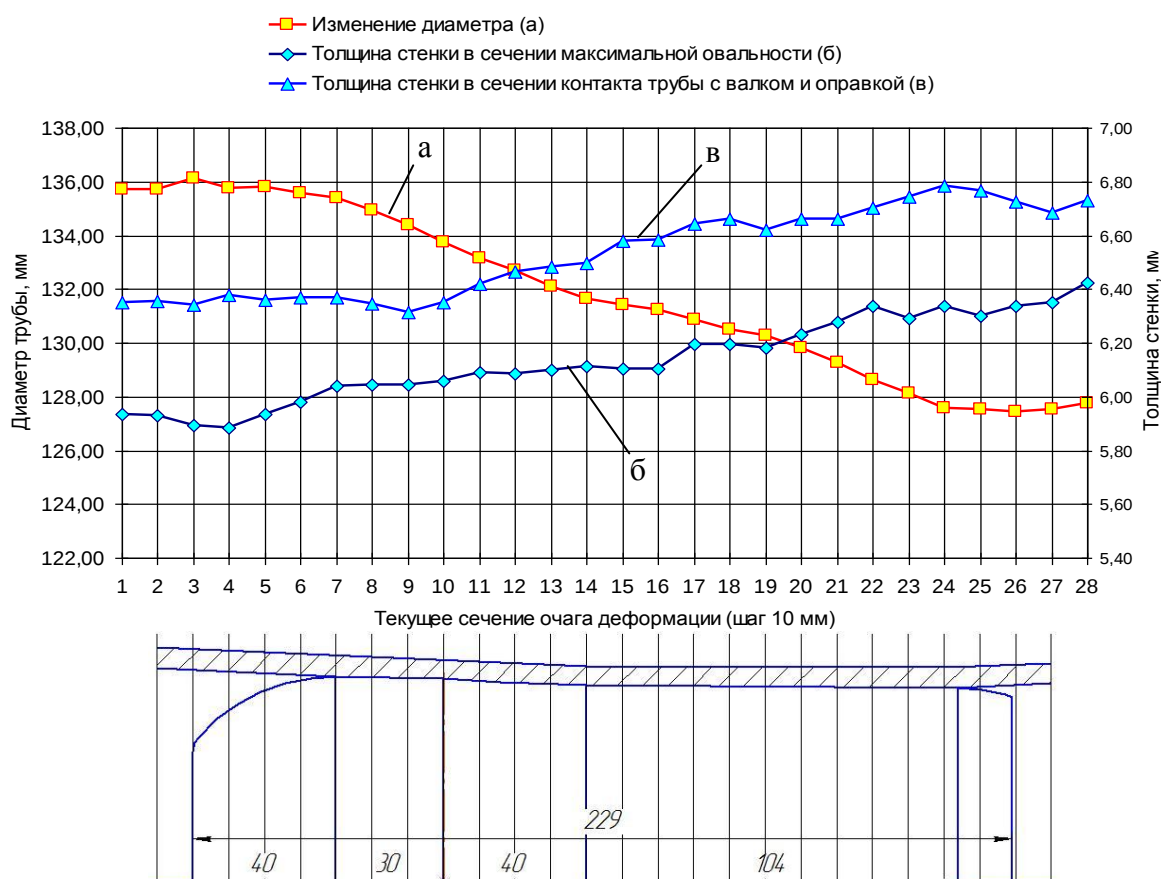


Рисунок 4.22 – Диаграммы изменения диаметра (а) и толщины стенки трубы в плоскости максимальной овальности (б) и в плоскости вала (в) при ведении процесса обкатки с уменьшением диаметра

В процессе обкатки в межвалковом пространстве образовывалась овальность между валками и оправкой, при этом величина уменьшения диаметра трубы оказалась больше величины образовавшейся овальности. Таким образом, установленная схема деформирования трубы позволила в процессе обкатки погасить величину «разбоя», характерную для действующей технологии и уменьшить диаметр трубы.

Характер изменения наружного диаметра черновой трубы и толщины стенки вдоль очага деформации в двух сечениях согласно рисунку 4.22 (шаг сечения составляет 10 мм) следующий:

В начальный период процесса обкатки, начиная от захвата черновой трубы валками и до встречи с оправкой (сечения 1-7), в незакрытых областях очага деформации (сечение выпусков) происходит утолщение стенки по причине

редуцирования трубы в данной зоне; в зоне контакта с валком толщина стенки по сечениям 1-7 практически не изменяется. На оправочном участке очага деформации (сечения 7-10) уменьшение наружного диаметра трубы становится более интенсивным, начиная с 7-го сечения, и наблюдается до конца пережима валков (сечение 24). Начиная с 10 сечения, на протяжении всего оправочного участка очага деформации (до сечения 24) толщина стенки увеличивается как в зоне действия валков, так и в зоне максимальной овальности трубы. В конце очага деформации (сечения 24-28) наружный диаметр трубы, достигнув своего минимального значения в сечении 24, остается неизменным. Толщина стенки в этих сечениях, в зоне действия валков, незначительно утоняется, а в зоне максимальной овальности сечения продолжает утолщаться. Таким образом, суммарное утолщение стенки составляет 0,38 мм (расчетное утонение стенки должно было составлять 0,31 мм (рисунок 4.23)), что указывает на повышенный зазор между валком и оправкой, или увеличенное расстояние между валками относительно расчетного.

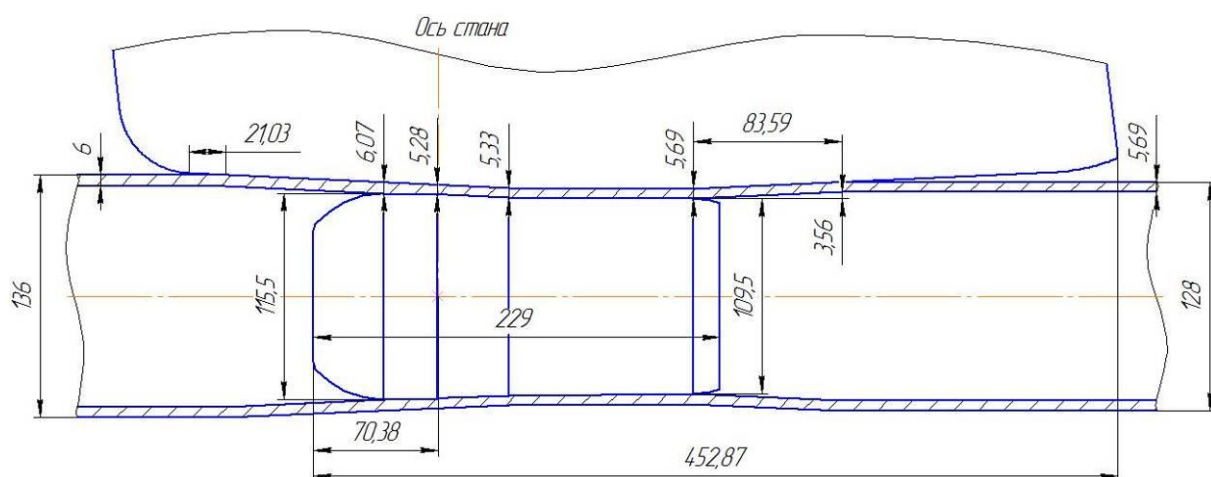


Рисунок 4.23 – Расчетный очаг деформации обкатного стана при прокатке труб с уменьшением диаметра

Оценить износ прокатного инструмента обкатного стана (как валков, так и оправок) не представлялось возможным, поскольку в обеих опытно-промышленных прокатках он практически отсутствовал в связи с относительно малым объемом проведенных экспериментов.

На рисунке 4.24 показан внешний вид оправки обкатного 3-х валкового стана после второй опытной прокатки (прокатано 42 трубы из сталей марок 20 и 13ХФА).



Рисунок 4.24 – Опытная оправка обкатного стана, после прокатки на ней 43 труб

Отсутствие выраженного износа на валках и оправках обкатного стана, говорит о благоприятных условиях работы прокатного инструмента и эффективности разработанных технических решений по осуществлению новой технологии обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы.

4.2.3 Качество труб

По результатам первой опытно-промышленной прокатки готовых труб получено не было. Цели получения труб – не ставилось.

По результатам второй опытно-промышленной прокатки НЛЗ диаметром 156 мм было получено 23 трубы из стали 20 и 18 труб из стали 13ХФА размером 114,0×8,0 мм. Все трубы прошли технический контроль по состоянию качества внутренней поверхности и геометрической точности и по данным критериям признаны годными без отбраковки и перереза, однако были забракованы по качеству наружной поверхности.

По результатам металлографических исследований образцов от прокатанных труб на наружной поверхности выявлены: отслоения металла, соединенные с основным металлом одной стороной, незначительные неровности различной формы и др.

Вероятными причинами образования дефектов на наружной поверхности труб являлись раскатанные следы насечки, нанесенной на поверхность гильзы передней частью входного конуса валков прошивного стана.

По-видимому, возникшая проблема, связанная с ухудшением качества наружной поверхности, определяется способом раскатки гильз. Процесс раскатки гильз на ТПА-140 осуществляют в клетях СПП-1 и СПП-2 на коротких неподвижных оправках, в которых, наряду с нормальными (кующими) усилиями имеют место тянущие относительно наружной и внутренней поверхностей трубы усилия, направленные вдоль оси прокатки, необходимые для преодоления лобового сопротивления оправки. В этом случае происходит закат всех поверхностных неровностей, в том числе и следов от накатки с образованием «чешуйчатости», шероховатости, причем на наружной поверхности ориентация мелких закатов должна совпадать с направлением прокатки, а на внутренней поверхности – быть противоположенного направления. То же можно отнести и к обкатному стану, на котором процесс осуществляется на короткой оправке.

По полученным результатам можно сделать вывод: на ТПА с автоматическими раскатными и обкатными станами с осуществлением процессов деформирования на короткой неподвижной оправке использование стимулирующих технологий для улучшения условий захвата заготовки (первичного и вторичного): нанесение всевозможных элементов типа насечек, нарезок, «бобышек» и т.п. должно быть исключено. Необходимо использовать валки с гладкой поверхностью входного и выходного конусов (либо, в крайних случаях – со специально спрофилированной формой насечки или нарезки, исключающих образование закатов).

От передних и задних концов труб размером 114,0×8,0 мм из стали 20 отрезались пробы на соответствие диаметра и толщины стенки. В сечениях:

передний конец – 250-350 мм от переднего торца трубы, задний конец – на расстоянии 150-250 мм от заднего торца трубы, по диаметру в 2-х взаимно-перпендикулярных плоскостях. По результатам замеров толщины стенки в 8-ми точках по периметру трубы разностенность передних и задних концов не превышала допустимые пределы по ГОСТ 8732-78 и составляла по переднему концу 8,2-8,5 мм, по заднему 7,7-8,4 мм (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Геометрические замеры проб от труб из стали марки 20

Факт./по НД	Передний конец		Задний конец	
	Ø _{нар} , мм	S, мм	Ø _{нар} , мм	S, мм
Фактические	114,0-114,4	8,2-8,5	114,0-114,4	7,7-8,4
ГОСТ 8732-78	112,86-115,14	6,8-9,0	112,86-115,14	6,8-9,0

Замеры толщин стенок и наружного диаметра с переднего и заднего концов на 10 случайно выбранных готовых труб, прокатанных из стали 20 представлены в таблице 4.5. Фактические значения толщин стенок находятся в пределах допускаемых отклонений по ГОСТ 8732-78 обычной точности изготовления: (-15,0%/+12,5%).

Таблица 4.5 – Результаты замеров толщин стенок на концах готовых труб

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ трубы	Передний конец								Средняя толщина стенки	Отклонение по средней стенке	Разностенность, S _{max} -S _{min} , мм
	1	2	3	4	5	6	7	8			
2-10	8,42	8,80	8,65	8,61	8,55	8,63	8,71	8,68	8,63	+7,89	0,38
2-14	8,48	8,61	8,55	8,26	8,00	8,67	8,50	8,75	8,48	+5,97	0,75
2-8	8,35	8,55	8,56	8,56	8,43	8,52	8,30	8,35	8,45	+5,66	0,26
2-17	8,65	8,52	8,54	8,35	8,26	8,45	8,23	8,18	8,40	+4,97	0,47
2-15	8,60	8,70	8,78	8,65	8,65	8,66	8,50	8,00	8,57	+7,09	0,78
2-4	8,28	8,35	8,23	8,32	8,27	8,38	8,67	8,37	8,36	+4,48	0,44
2-5	8,25	8,21	8,32	8,15	8,26	8,05	8,08	8,30	8,20	+2,53	0,27
2-18	8,85	8,86	8,87	8,70	8,60	8,20	8,21	8,97	8,66	+8,22	0,77
2-3	8,17	8,10	8,18	8,05	8,15	8,05	7,80	7,87	8,05	+0,58	0,18
2-1	8,86	8,42	8,65	9,05	9,60	9,07	8,75	8,80	8,90	+11,25	1,18
№ трубы	Задний конец								Средняя толщина стенки	Отклонение по средней стенке	Разностенность, S _{max} -S _{min} , мм
	1	2	3	4	5	6	7	8			
2-10	7,75	7,50	7,52	7,63	7,85	8,1	8,04	8,3	7,84	-2,05	0,80
2-14	8,00	7,85	8,15	8,05	8,23	8,35	8,36	8,4	8,17	+2,17	0,55
2-8	8,15	8,45	8,60	8,65	8,15	7,95	7,75	7,83	8,19	+2,39	0,90
2-17	7,75	7,65	7,65	7,83	8,24	8,35	8,76	8,73	8,12	+1,50	1,11
2-15	7,75	7,80	8,30	8,45	8,70	8,65	8,50	8,45	8,33	+4,06	0,95
2-4	7,78	7,7	7,93	8,18	8,27	8,27	8,24	8,25	8,08	+0,97	0,57
2-5	8,08	8,21	8,17	7,75	7,85	7,85	7,68	7,73	7,92	-1,06	0,53
2-18	8,82	8,46	8,80	8,65	8,45	7,90	8,05	8,15	8,41	+5,13	1,14
2-3	7,46	7,60	7,68	7,65	7,70	8,21	8,18	8,33	7,85	-1,86	0,87
2-1	8,60	8,65	8,20	8,67	8,41	9,47	8,85	8,90	8,71	+8,98	1,27

Анализ данных таблицы 4.5 показывает, что фактическое общее поле по толщине стенки с учетом выборки составляет 7,46...9,60 мм (что соответствует 2,14 мм или 26,75% от номинальной стенки 8 мм) (рисунок 4.25).

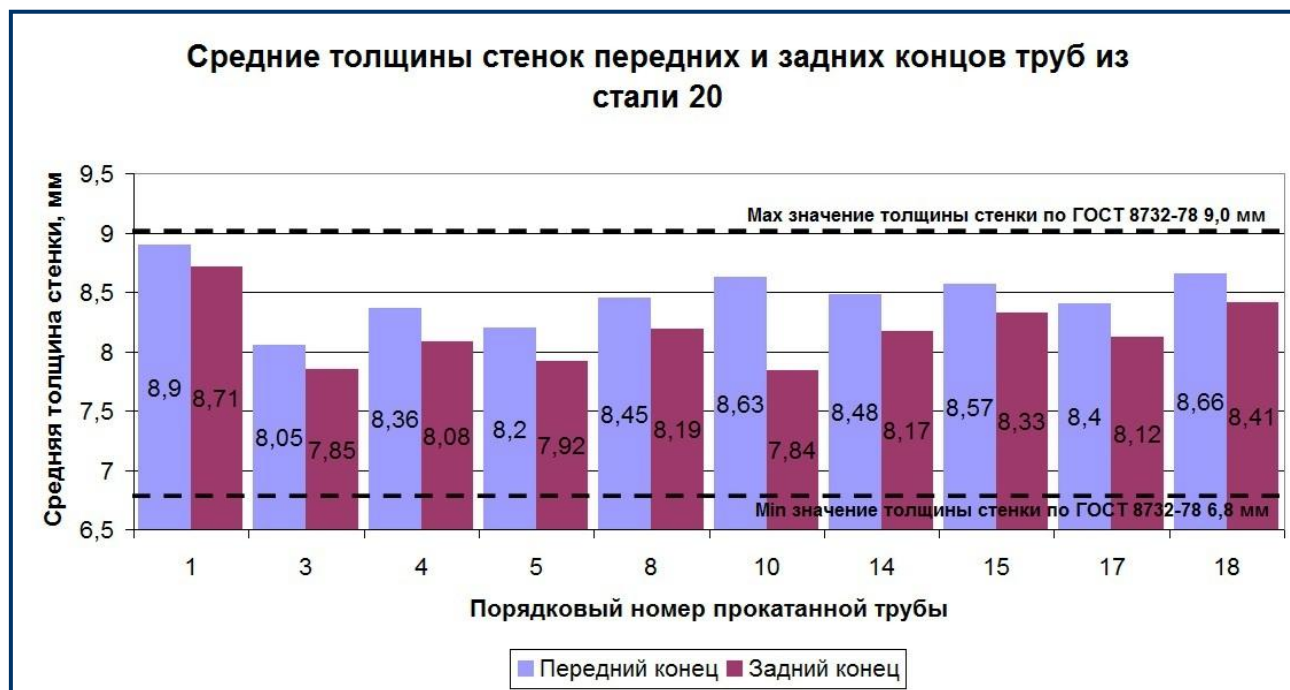


Рисунок 4.25 – Отклонение средней толщины стенки труб из стали 20

От передних и задних концов труб размером 114,0×8,0 мм из легированной марки стали 13ХФА так же были взяты пробы на соответствие диаметра и толщины стенки. В сечениях: передний конец – 250-350 мм от переднего торца трубы, задний конец – на расстоянии 150-250 мм от заднего торца трубы, по диаметру в 2-х взаимно-перпендикулярных плоскостях. По результатам замеров толщины стенки в 8-ми точках по периметру трубы разностенность передних и задних концов не превышала допустимые пределы по ТУ 1317-006 (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Геометрические замеры проб от труб из стали марки 13ХФА

Факт./по НД	Передний конец		Задний конец	
	Ø _{нар} , мм	S, мм	Ø _{нар} , мм	S, мм
Фактические	114,1-114,7	7,8-8,9	114,1-114,3	7,4-8,7
ТУ 1317-006	112,86-115,14	7,0-9,0	112,86-115,14	7,0-9,0

Замеры толщин стенок и наружного диаметра с переднего и заднего концов на 5 случайно выбранных готовых трубах, прокатанных из стали 13ХФА представлены в таблице 4.7. Фактические значения толщин стенок находятся в пределах допускаемых отклонений по ТУ 1317-006 (-12,5%/+12,5%).

Таблица 4.7 – Результаты замеров толщин стенок на концах готовых труб

№ трубы	Передний конец								Средняя толщина стенки	Отклонение по средней стенке	Разностенность, $S_{max}-S_{min}$, мм
	1	2	3	4	5	6	7	8			
3-6	8,40	8,37	8,50	8,49	8,30	8,31	8,20	8,03	8,33	+4,06	0,47
3-0	8,35	8,33	8,40	8,36	8,55	8,53	7,57	8,53	8,33	+4,09	0,98
3-18	8,45	8,20	7,95	7,8	7,47	8,00	8,05	8,20	8,02	+0,19	0,98
3-12	8,51	8,31	8,4	8,4	8,15	8,18	8,4	8,35	8,34	+4,22	0,36
3-9	8,65	8,90	8,60	8,50	8,40	8,10	7,90	8,35	8,43	+5,31	1,00
Задний конец											
3-6	8,82	8,04	7,70	7,82	8,42	8,44	8,55	8,80	8,32	+4,05	1,12
3-0	8,55	8,43	8,50	7,95	8,10	8,20	8,05	8,13	8,24	+2,98	0,60
3-18	8,13	8,03	7,70	8,12	8,05	7,75	7,80	7,95	7,94	-0,73	0,43
3-12	8,50	8,65	8,23	8,20	7,90	8,00	7,75	7,80	8,13	+1,61	0,90
3-9	8,30	8,60	8,50	8,45	8,38	8,05	8,03	8,20	8,31	+3,92	0,57

Анализ данных таблицы 4.7 показывает, что фактическое общее поле по толщине стенки с учетом выборки составляет 7,47...8,90 мм (что соответствует 1,43 мм или 17,88% от номинальной стенки 8 мм) (рисунок 4.26).

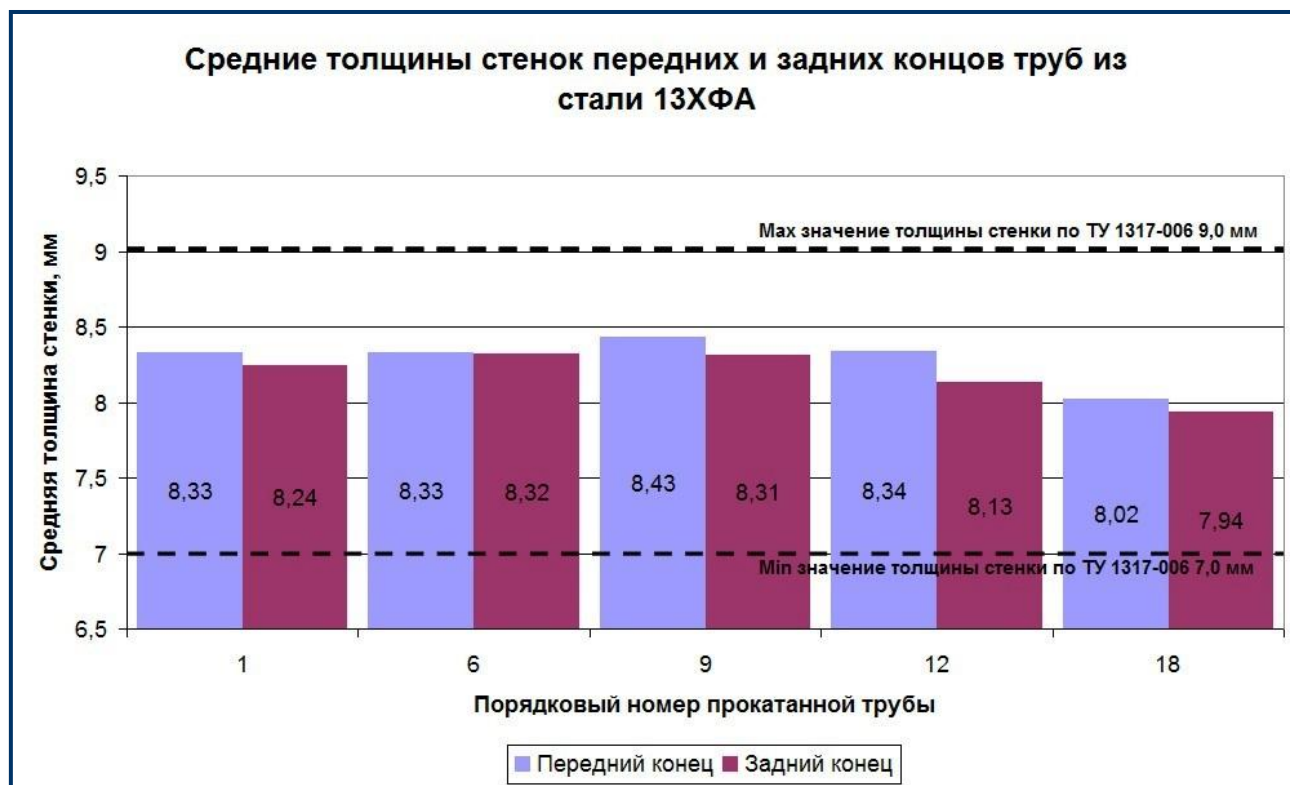


Рисунок 4.26 – Отклонение средней толщины стенки труб из стали 13ХФА

По результатам технического контроля отмечена удовлетворительная точность труб по геометрии: все прокатанные трубы соответствуют требованиям ГОСТ 8732-78 и ТУ 1317-006 по толщине стенки и наружному диаметру.

По результатам неразрушающего контроля и толщинометрии все трубы второй опытно-промышленной прокатки размером 114×8,0 мм из стали 20 и 13ХФА признаны годными.

По результатам третьей опытно-промышленной прокатки было получено 28 труб из стали 20. На наружной поверхности большей части труб было отмечено наличие порезов, которые располагались вдоль всей длины трубы и под определенным углом к оси трубы, что свидетельствует об образовании порезов в процессе прошивки (рисунок 4.27). Согласно исследованию очага деформации прошивного стана по заторможенной заготовке-гильзе порезы появились на трубах из-за воздействия острых кромок линеек, образовавшихся после притирания последних. Причиной возникновения более мелких порезов мог быть так же гребень вала прошивного стана, который, скорее всего, тоже был заострен в процессе притирания линеек.

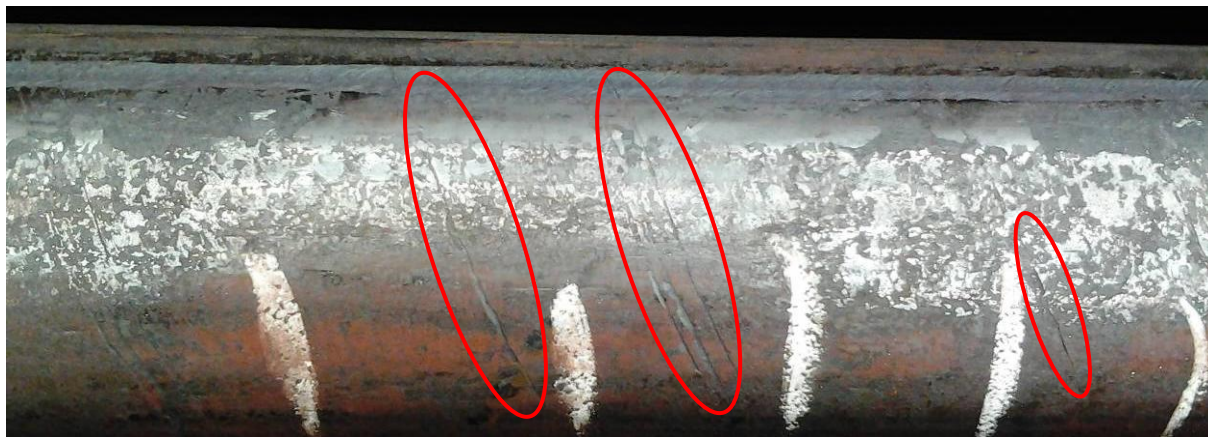


Рисунок 4.27 – Порезы на наружной поверхности труб

Кроме порезов, на 7 трубах были обнаружены «ужимы» (рисунок 4.28). Образование «ужимов» связано с переполнением калибров в калибровочном стане из-за потери устойчивости труб, в результате повышенного частного обжатия в калибре. Эти трубы предназначались для прогрева валков СПП и

прокатывались на обкатном стане без оправки, с увеличенным расстоянием между валками (диаметр этих труб после обкатного стана составлял около 142 мм вместо требуемого 128 мм).



Рисунок 4.28 – Ужимы на наружной поверхности трубы

Результаты геометрических размеров труб по диаметру и толщине стенки по замерам проб на холодильнике приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Диаметры и толщины стенок труб размером 108×6,0 мм

Факт/по НД	Передний конец		Задний конец	
	D _{нар} , мм	S, мм	D _{нар} , мм	S, мм
Фактические	107,8-108,6	1 обр. 6,5-7,8 2 обр. 6,7-7,6	107,6-108,4	1 обр. 6,4-7,8 2 обр. 5,9-7,7
ГОСТ 8731/8732 Допуск для труб размером 108×6,0 мм	±1,0% (106,92-109,08)	+12,5 -15,0% (5,1-6,75)	±1,0% (106,92-109,08)	+12,5 -15,0% (5,1-6,75)
Допуск для толщины стенки 7,0 мм (для справки)		+12,5 -15,0% (5,95-7,87)		+12,5 -15,0% (5,95-7,87)

На внутренней поверхности двух труб была отмечена спираль (рисунок 4.29). Причиной образования внутренней спирали, предположительно, могло быть неустойчивое положение оправки обкатного стана, которая «выжималась» из очага деформации усилием, возникающим в процессе деформирования, на

обратном конусе оправки. Данная причина является основной, препятствующей деформированию стенки трубы до требуемого размера 5,7 мм.



Рисунок 4.29 – Спираль на внутренней поверхности трубы

Согласно результатам осмотра основной вид дефекта труб составили порезы на наружной поверхности. Исследования заторможенной заготовки-гильзы подтвердили предположение о том, что основная причина образования данного вида дефектов – наличие острых кромок на боковом профиле линейки, прошивного стана, сформировавшихся в результате вынужденного притирания последних в ходе проведения исследований.

Наличие грубого пореза на поверхности заторможенной гильзы показано на рисунке 4.30.

Место образования пореза соответствует участку пережима валков, а применительно к оправке – участку расположения оправочного гребня, с которого начинается интенсивная раскатка стенки гильзы на оправке (рисунок

4.15, кривая в), характеризующаяся увеличением поперечной составляющей деформации и диаметра гильзы.



Рисунок 4.30 – К механизму образования пореза на наружной поверхности гильзы: а – задира поверхностного слоя гильзы острой кромкой линейки; б – грубый врез на поверхности гильзы от наваренной кромкой линейки

Механизм образования пореза можно представить следующим образом: острая кромка линейки на локальном участке (начало интенсивной раскатки стенки гильзы и увеличение ее периметра) с нагруженной стороны начинает подпирать, а затем срезать тонкий слой наружной поверхности заготовки-гильзы (рисунок 4.30 а). Происходит интенсивный локальный разогрев кромки, последующая сварка («схватывание») ее с металлом заготовки-гильзы. Увеличившаяся в объеме кромка наносит на поверхность гильзы грубый врез

(рисунок 4.30 б), а затем, по мере увеличения усилия со стороны металла, откалывается от линейки.

На рисунке 4.31 показана нижняя линейка с притертыми в ходе проведения опытной прокатки острыми кромками со следами сколов кромки в процессе прошивки.



Рисунок 4.31 – Экспериментальная нижняя линейка после прошивки 212 заготовок со следами сколов острой кромки бокового профиля

Кроме того, на рисунке 4.31 виден след износа линейки после прошивки 212 заготовок, из которых 37 заготовок прошиты в тонкостенные гильзы с уменьшением их по диаметру относительно диаметра заготовки.

Несмотря на возникшие проблемы с качеством труб прокатанных во время третьей опытной прокатки, все дефекты вызваны обстоятельствами не связанными с калибровками прокатного инструмента и режимами прокатки.

Таким образом, схема прошивки НЛЗ диаметром 156мм с уменьшением диаметра гильзы на прошивном стане с грибовидными валками, совместно со схемой обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы на трехвалковом обкатном стане, обеспечили получение требуемых предельных размеров труб, и свидетельствуют о возможности получения конечных размеров готовых труб от 73 до 121 мм во всем диапазоне толщин стенок.

4.3 Выводы по главе

1. Во всех трех опытных прокатках НЛЗ диаметром 156 мм достигнуто уменьшение наружного диаметра гильз до 136-140 мм и 146 мм при использовании экспериментальных калибровок прокатного инструмента прошивного стана (оправок, валков и линеек).

2. Во всех прокатках процесс прошивки заготовок с уменьшением диаметров гильз характеризовался стабильностью во всех стадиях, возможностью маневрирования настроечными параметрами прошивного стана, удовлетворительными условиями первичного и вторичного захватов, удовлетворительной тянущей способностью валков, допустимыми нагрузками на приводы прошивного стана, а также удовлетворительной стойкостью экспериментального прокатного инструмента и получением гильз удовлетворительной точности. Разработанная технология прошивки обладает достаточной маневренностью, определенным резервом тянущих сил трения и запасом мощности.

3. Удовлетворительная тянущая способность валков обеспечивалась как при наличии, так и при отсутствии дополнительных средств на поверхности входных конусов валков, стимулирующих условия первичного захвата (бобышек и насечки). При этом на наружной поверхности гильз и труб наблюдались дефекты в виде мелкой «чешуйчатости», квалифицируемые как следы от бобышек или насечки, выполненной на входных конусах валков прошивного стана. Таким образом, учитывая имеющийся резерв тянущих сил трения, выявленный в результате оценки коэффициента осевой скорости заготовки и условий первичного и вторичного захватов, входные участки валков необходимо выполнять гладкими.

4. В ходе исследований установлена малая значимость влияния размеров гребня интенсивной деформации на валке на условия вторичного захвата.

5. Так же установлена малая значимость влияния повышенного диаметра носика оправки на условия вторичного захвата и позитивное его влияние на

качество внутренней поверхности гильз и труб, что подтверждает целесообразность использования оправки с повышенным диаметром носика.

6. Показано повышение стойкости экспериментальных оправок в сравнении с действующими оправками более чем в 2 раза.

7. Сравнительный анализ работы экспериментальных оправок с двумя различными типами кольцевых выточек: 1 – образованной прямым и обратным гребнями и 2 – образованной только обратным гребнем показал, что оправки 2-го типа менее эффективны по характеру износа.

8. В двух опытных прокатках впервые в практике трубопрокатного производства реализована новая технология обкатки черновой трубы в трехвалковом обкатном стане винтовой прокатки, позволяющая получать черновые трубы без повышения наружного диаметра, то есть по схеме «размер в размер» и с уменьшением диаметра до 8 мм (6%) относительно диаметра трубы, задаваемой в стан.

9. При реализации новой технологии обкатки токовые нагрузки на приводах обкатного стана находятся в пределах 1,1-1,2 кА и не превышают допустимых значений (1,8 кА).

10. В ходе второй опытной прокатки получены трубы размером 114×8,0 мм из НЛЗ диаметром 156 мм удовлетворительного качества внутренней поверхности и точности (изготовлено 23 трубы из стали 20 и 18 труб из легированной стали 13ХФА, длиной на холодильнике 12500 мм). Все прокатанные трубы прошли технический контроль на качество внутренней поверхности и геометрической точности по стенке и диаметру, а также УЗК. По данным ОТК состояние качества внутренней поверхности и геометрическая точность труб удовлетворительные: ни одна из них не забракована и не отправлена на повторный перерез по причине наличия внутренних дефектов и превышения допусков ГОСТ 8732 по диаметру и стенке.

11. Во всех опытных прокатках отмечена удовлетворительная стойкость прокатного инструмента обкатного стана, в частности, оправок. Весь прокат труб из стали 20 и 13ХФА во время второй опытной прокатки был осуществлен на

одной оправке. Во время третьей опытной прокатки замен оправок обкатного стана по причине износа так же не производилось (прокатано 28 труб).

12. Подтверждена возможность изготовления труб диаметром 114 и 108 мм из непрерывнолитой заготовки диаметром 156 мм с использованием новых технических решений, направленных на совершенствование технологии включающей процессы прошивки заготовки в гильзу с уменьшением диаметра и обкатки черновой трубы с сохранением или уменьшением диаметра по схеме:

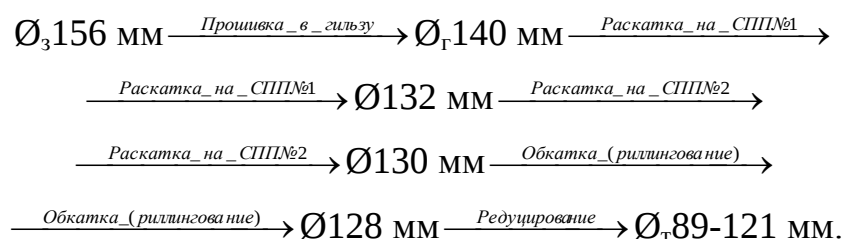
заготовка Ø156 мм → гильза Ø138-146 мм → СПП-1, СПП-2, черновая труба Ø128-136 мм → обкатка Ø128 мм → калибрование в трубу Ø108-114 мм.

13. Получение черновых труб диаметром 128 мм после обкатного стана позволяет сделать заключение о том, что возможно производство готовых труб диаметром 73-121 мм путем прокатки черновых труб на редуционном стане ТПА-140 с использованием действующих калибров. С учетом вытяжки возможно изготовление труб диаметром 89-121 мм.

14. Для успешного получения тонкостенных труб необходимо обеспечить коэффициент вытяжки на СПП-2 равный 1,14.

15. С целью стабилизации оправки в очаге деформации обкатного стана и исключения дефектообразования типа «внутренняя спираль» выходная сторона оправки должна иметь цилиндрический участок (для процесса обкатки с уменьшением диаметра).

16. По результатам сравнительного анализа трех опытных прокаток установлена оптимальная схема перераспределения деформации между станами горячего передела ТПА-140:



ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основании теоретических и опытно-промышленных исследований, а так же математического моделирования процесса винтовой прошивки заготовок показана принципиальная возможность прошивки НЛЗ с уменьшением диаметра гильзы до 13% на двухвалковых станах винтовой прокатки с валками грибовидного типа и направляющими линейками.

2. На основании теоретических и опытно-промышленных исследований, а так же компьютерного моделирования показана принципиальная возможность обкатки черновой трубы с уменьшением диаметра до 6% на трехвалковых станах винтовой прокатки.

3. Разработана новая сквозная технология производства труб диаметром от 83 до 121 мм во всем диапазоне толщин стенок из НЛЗ диаметром 156 мм на ТПА-140 ОАО «СинТЗ», с последовательным уменьшением диаметра заготовки на каждой операции горячего передела. Реализация новой технологии обеспечивается путем перераспределения деформации между станами горячего передела ТПА-140 и создания новых технологических схем прошивки с уменьшением диаметра гильзы и обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы, не имеющих аналогов в России и за рубежом.

4. Проведенные экспериментальные исследования основных технологических параметров процесса прошивки позволяют дать рекомендации по температуре нагрева НЛЗ из стали 20. Для непрерывнолитых заготовок из стали 20 исследования пластичности методом горячего кручения проводились впервые. Температурный интервал максимальной технологической пластичности стали 20 составляет 1100-1150°C.

5. Проведенные экспериментальные исследования процесса прошивки с уменьшением диаметра гильзы показали хорошую сходимость с математическим моделированием и повышенную до 4 раз стойкость новых экспериментальных оправок прошивного стана в сравнении с «классическими».

6. Качество внутренней поверхности гильз при прошивке с повышенными обжатиями, обеспечивается за счет применения оправки с увеличенным диаметром носка, позволяющего «залечивать» осевое разрушение НЛЗ; повышенного акцентированного обжатия заготовки и соблюдения принципа дробности деформации при прошивке.

7. Проведенные экспериментальные исследования процесса обкатки с уменьшением диаметра черновой трубы показали хорошую сходимость с компьютерным моделированием и повышение точности прокатанных труб по диаметру и толщине стенки, обусловленное наличием на новой оправке обкатного стана участков с обратным конусом.

8. Результаты опытных прокаток с получением труб размером 114×8,0 мм и 108×7,0 мм из НЛЗ диаметром 156 мм позволяют сделать вывод о возможности унификации трубных заготовок диаметром 90-150 мм до одного типоразмера 156 мм с получением труб диаметром от 89 до 121 мм во всем диапазоне толщин стенок.

9. Новая технология производства труб диаметром от 83 до 121 мм из НЛЗ диаметром 156 мм, с последовательным уменьшением диаметра заготовки на каждой операции горячего передела пригодна для применения на всех ТПА-140 с автомат-станами.

10. Результаты настоящего диссертационного исследования внедрены и успешно применяются на российских трубопрокатных заводах, а именно на ТПА 159-426 ОАО «ВТЗ» и ТПА-140 ОАО «СинТЗ».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеев, Ю.М. Калибровка инструмента трубных станов / Ю.М. Матвеев, Я.Л. Ваткин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1970. – 480 с.
2. Потапов, И.Н. Новая технология винтовой прошивки / И.Н. Потапов, П.И. Полухин. – М.: Металлургия, 1975. – 343 с.
3. Горячая прокатка и прессование труб / Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг и др. – М.: Металлургия, 1972. – 576 с.
4. Курятников, А.В. Интенсификация производства и повышение качества труб путем обжата и профилирования заготовки перед прошивкой: дис. ... канд. тех. наук / А.В. Курятников. – Челябинск, 1987. – 187 с.
5. Липнягов, С.В. Внедрение обжимного стана в линии ТПА-80 ОАО «СинТЗ» / С.В. Липнягов, Д.Ю. Чернышов // Труды международной научно-технической конференции Трубы 2007. – Челябинск, 2007.
6. Марченко, Л.Г. Использование обжимного стана в линии ТПА-80 / Л.Г. Марченко, М.М. Фадеев, Ю.В. Бодров и др. // Сталь. – 2009 – № 7. С. 57-60.
7. Бодров, Ю.В. Использование обжимного стана в линии ТПА-80 / Ю.В. Бодров, Д.В. Овчинников, Д.Ю. Чернышов // Труды VII Конгресса прокатчиков, г. Москва, 2007 г. – М.: Черметинформация, 2007.
8. Бодров, Ю.В. Использование обжимного стана в линии ТПА-80 / Ю.В. Бодров, Д.В. Овчинников, Д.Ю. Чернышов и др. // Неделя металлов в Москве. 12-16 ноября 2007 г.: сб. трудов конф. – М.: Черметинформация, 2008.
9. Бодров, Ю.В. Исследование нестационарной стадии винтовой прокатки непрерывнолитых заготовок на трехвалковом обжимном стане / Ю.В. Бодров, Д.В. Овчинников, В.Л. Устьянцев и др. // Труды XVII международной научно-технической конференции Трубы 2009. – Челябинск, 2009. – С. 287-288.
10. Овчинников, Д.В. Совершенствование технологии обжата непрерывно-литой заготовки на трехвалковом обжимном стане винтовой прокатки /

Д.В. Овчинников, М.В. Ерпалов, А.А. Богатов // Труды XVIII международной научно-технической конференции Трубы 2010. – Челябинск, 2010.

11. Овчинников, Д.В. Развитие и внедрение процесса обжатия непрерывно-литой заготовки на трехвалковом обжимном стане винтовой прокатки / Д.В. Овчинников, М.В. Ерпалов, А.А. Богатов // Труды VIII Конгресса прокатчиков, г. Магнитогорск, 2010 г. – Магнитогорск, 2010. – С 294-300.

12. А.с. 615962 СССР, И 21 И 19/04. Способ получения гильз винтовой прокаткой / И.Н. Потапов, А.В. Курятников, Б.П. Картушов и др. – Оpubл. 25.07.78, Бюл. № 27.

13. А.с. 772620 СССР, В 21 В 19/04, 23/00. Способ получения гильз / Б.П. Картушов, А.В. Курятников, А.Н. Кириченко и др. – Оpubл. 23.10.80, Бюл. № 39.

14. А.с. 839631 СССР, В 21 В 23/00. Способ производства труб / О.А. Пляцковский, В.Г. Павловский, А.А. Спирин и др. – Оpubл. 23.06.81, Бюл. № 23.

15. Чекмарев, А.П. Интенсификация поперечно-винтовой прокатки / А.П. Чекмарев, Ю.М. Матвеев, В.Н. Выдрин, Я.С. Финкельштейн. – М.: Металлургия, 1970. – 184 с.

16. Dr. Peter Heimerzheim Прошивные косовалковые станы. Качество с самого начала / Dr. Peter Heimerzheim, Olaf Szebsdat // SMS MEER, Corporate Communications, Германия. – 2012. – №3. С. 8-9.

17. Емельяненко, П.Т. Теория кривой и пилигримовой прокатки / П.Т. Емельяненко. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1949. – 491 с.

18. Тетерин П.К. Теория поперечной и винтовой прокатки / П.К. Тетерин. – М.: Металлургия, 1983. – 270 с.

19. Ваткин, Я.Л. Выбор размера заготовки для малой автоматической установки / Я.Л. Ваткин, И.Н. Гуляев, С.Д. Слесарчик, Я.Ф. Финкельштейн // Сталь. – 1954. – № 10. С. 917-922.

20. Ваткин, Я.Л. Улучшение качества труб при прошивке заготовок с уменьшенным коэффициентом вытяжки / Я.Л. Ваткин, Г.А. Бибик, В.М. Друян // Сб. Обработка металлов давлением LV. – М.: Металлургия, 1970. – С. 164-170.
21. Муса-Заде, М.М. Улучшение качества тонкостенных труб / М.М. Мусса-Заде, Б.И. Поджарский, И.П. Алиев // Сталь. – 1965. – № 10. С. 935.
22. Толмачев, В.О. Освоение прошивки гильз на стане конструкции ЭЗТМ / В.О. Толмачев, А.И. Степанов, Ю.Г. Губин // Сталь. – 2009. – № 7. С. 56.
23. Марченко, К.Л. Опыт использования непрерывнолитой заготовки из углеродистой стали при производстве бесшовных труб / К.Л. Марченко, В.Ю. Кузнецов, М.М. Фадеев и др. // Сталь. – 2003. – № 8. С. 53-54.
24. Марченко, К.Л. Прошивка непрерывнолитой заготовки при повышенном обжати / А.Л. Марченко, К.А. Поляков, Б.А. Романцев и др. // Прокатное производство. – 2005. – № 2.
25. Марченко, К.Л. Интенсификация процесса винтовой прошивки непрерывнолитых заготовок с целью повышения качества труб: автореферат дис. ... канд. тех. наук / К.Л. Марченко. – Москва, 2007.
26. Белевич, А.В. Моделирование температурного режима и усовершенствование конструкции тяжело нагруженного направляющего инструмента прошивного стана / А.В. Белевич, А.Б. Иванченко, К.Л. Марченко и др. // Производство проката. – 2006. – № 9.
27. Шапиро, И.А. Освоение технологии производства труб диаметром 168 мм на ТПА-140 / И.А. Шапиро, В.В. Ларинов, С.В. Мольгин // Сталь. – 2004. – № 8. С. 54-55.
28. Потапов, И.Н. Теория трубного производства / И.Н. Потапов, А.П. Коликов, В.М. Друян. – М.: Металлургия, 1991. – 424 с.
29. Остапенко, А.Л. Сопротивление деформации сталей при прокатке и методики его расчета / А.Л. Остапенко, Л.А. Забира // Черная металлургия. – 2009. – №3. – С. 54-79.
30. Прошивка в косовалковых станах / А.П. Чекмарев, Я.Л. Ваткин, М.И. Ханин и др.; ред. В.А. Рымов – М.: Металлургия, 1967. – 240 с.

31. Финкельштейн, Я.С. Справочник по прокатному и трубному производству / Я.С. Финкельштейн. – М.: Металлургия, 1975. – 440 с.
32. Технология и оборудование трубного производства / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов; под. ред. В.Я. Осадчего. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 560 с.
33. Исследование и разработка новой схемы прокатки труб на агрегате «400» с оптимальным распределением деформации между станами: отчет о НИР: 23-У-2-13/8-69 / УралНИТИ. – Челябинск, 1969. – 131 с.
34. Определение областей возможного использования непрерывнолитой заготовки ЭСПЦ на ТПА 50-200 с учетом рациональной корректировки технологических маршрутов деформационных показателей оборудования ОАО «ВТЗ»: отчет о НИР: 1.21.1-К-73/03 / рук. к.т.н. В.И. Лашевич. – Челябинск, 2005. – 91 с.
35. Нестерова, Н.Н. Изменение толщины стенки гильзы при безоправочной косой прокатке на прошивном стане установки «140» / Н.Н. Нестерова // Производство труб: сборник статей по теории и прокатке трубного производства. – Metallurgizdat, 1961. – Вып. 5. – С. 72-75.
36. Анализ деформации при поперечно-винтовой прокатке. Yoshiwara Seishiro. «Тэцу то хаганэ, J. Iron and Steel Inst. Jap», 1981, 67, № 4, 309 (япон.).
37. Корсаков, А.А. Методика определения настроечных параметров для прошивных станов с бочковидными валками / А.А. Корсаков, Д.Ю. Звонарев, А.В. Король и др. // Сталь. – 2001. – № 2. С. 62-54.
38. Korsakov, A.A. Determining the setup parameters for piercing mills with barrel-shaped rollers / A.A. Korsakov, D.Yu. Zvonarev, A.V. Korol' & Co // Steel in Translation. – 2011, Volume 41. – Number 2, Pages 147-150.
39. Данилов, Ф.А. Производство стальных труб горячей прокаткой / Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг, В.Г. Балакин. – Металлургия, 1954. – 615 с.
40. ГОСТ 3565-80 Металлы. Метод испытания на кручение.
41. Фомичев, И.А. Косая прокатка / И.А. Фомичев. – М.: Metallurg izdat, 1963. – 262 с.

42. Чекмарев, А.П. Интенсификация поперечно-винтовой прокатки / А.П. Чекмарев, Ю.М. Матвеев, В.Н. Выдрин, Я.С. Финкельштейн. – М.: Металлургия, 1970. – 184 с.

43. Данилов, Ф.А. Горячая прокатка труб / Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг, В.Г. Балакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1962. – 592 с.

44. Курятников, А.В. Определение температурного интервала максимальной технологической пластичности металла методом горячего кручения применительно к процессу косовалковой прошивки / А.В. Курятников, А.В. Король, А.А. Корсаков и др. // Производство проката. – 2014 – № 1. С. 20-27.

45. Свидетельство №2012612810 о государственной регистрации программы для ЭВМ Kогx2 / А.В. Курятников, А.В. Король, А.А. Корсаков и др. – Оpubл. 21.03.12.

46. Корсаков, А.А. Программа расчета настроечных параметров прошивных станов с бочковидными валками / А.А. Корсаков // Научный Поиск: материалы IV научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. – Челябинск: издательский центр ЮУрГУ, 2012. – Т.2.

47. Курятников, А.В. Разработка компьютерных программ для расчета настроечных параметров прошивных станов / А.В. Курятников, А.В. Король, А.А. Корсаков и др. // Труды юбилейной научно-технической конференции Трубы-2012 «Развитие технологий производства наукоемкой трубной продукции». Сборник докладов. – Челябинск. ОАО «РосНИТИ», 2012. – Часть II. – С. 41-43.

48. Смирнов, В.С. Теория прокатки / В.С. Смирнов. – М.: Металлургия, 1967. – 460 с.

49. Выдрин, А.В. Компьютерное моделирование процесса прошивки в стане винтовой прокатки с бочковидными валками / А.В. Выдрин, А.В. Король, В.В. Широков // Вестник ЮУрГУ. Серия “Металлургия”. – Челябинск, 2015. – С.

50. Dr. Krahn. Прошивка на косовалковом стане – основы и технология // Dr. Krahn // SMS MEER, Германия. – 2007. – 48 с.

51. Eicken, A. PhD Thesis TH Clausthal, 1971 (Эйкен, А. Тезисы диссертации в техническом вузе Клаусталь, 1971 г.).

52. Пат. 2489220 Российская Федерация, МПК В21В 19/04. Способ винтовой прошивки литой заготовки / Пышминцев И.Ю., Курятников А.В., Король А.В., Корсаков А.А. и др. – Оpubл. 10.08.2013, Бюл. № 22.

53. Пат. 2489221 Российская Федерация, МПК В21В 19/04. Способ производства горячекатаных труб / Пышминцев И.Ю., Курятников А.В., Король А.В., Корсаков А.А. и др. – Оpubл. 10.08.2013, Бюл. № 22.

54. Пат. 2496590 Российская Федерация, МПК В21В 19/04. Технологический инструмент косовалькового прошивного стана / Пышминцев И.Ю., Курятников А.В., Корсаков А.А. и др. – Оpubл. 27.10.2013 Бюл. № 30

55. Потапов, И.Н. Технология винтовой прокатки / И.Н. Потапов, П.И. Полухин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.

56. Тетерин, П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки / П.К. Тетерин. – М.: Металлургия, 1971. – 368 с.

57. Шевакин, Ю.Ф. Производство труб / Ю.Ф. Шевакин, А.П. Коликов, Ю.Н. Райков; под ред. Ю.Ф. Шевакина. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 586 с.

58. Целиков, А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах / А.И. Целиков. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 495 с.

59. Хензель, А. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: справочник / А. Хензель, Т. Шпиттель; под. ред. В.П. Полухина. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.

60. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков и др. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.

61. Топоров, В.А. Исследование винтовой прокатки при прошивке заготовок / В.А. Топоров, М.В. Чепурин, В.А. Парфенов, А.И. Степанов // Сталь. – 2014. – №6. – С. 63-66.

62. Топоров, В.А. Сравнительный анализ методик расчета размеров кантактной поверхности металла с валками прошивного стана в условиях ОАО СТЗ / В.А. Топоров, А.И. Степанов, О.А. Панасенко и др. // Сталь. – 2014. – №6. – С. 79-82.

63. Хавкин, Г.О. Совершенствование методики расчета силовых параметров при косовалковой прошивке заготовок и обкатке труб / Г.О. Хавкин, Б.Г. Павловский // Сталь. – 2004. – №8. – С. 52-53.

64. Полухин, П.И. Совершенствование калибровки рабочего инструмента обкатных станов установки 400 / П.И. Полухин, В.Я. Осадчий, Р.М. Голубчик и др. // Процессы прокатки: сб. XL. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по обработке металлов давлением, 1962. – С. 319-326.

65. Полухин, П.И. Мощность и расход энергии при обкатке труб / П.И. Полухин, В.Я. Осадчий, Р.М. Голубчик и др. // Процессы прокатки: сб. XL. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по обработке металлов давлением, 1962. – С. 343-349.

66. Марченко, К.Л. Эффективные режимы прошивки непрерывнолитой заготовки на стане винтовой прокатки ТПА200 ВТЗ / К.Л. Марченко, К.А. Поляков, Б.А. Романцев и др. // Труды пятого конгресса прокатчиков, г. Череповец, 2003 г. – М.: Черметинформация, 2003. – С. 303-305.

67. Лубе, И.И. Исследование и совершенствование технологии горячей прокатки труб из непрерывнолитой заготовки на агрегатах с непрерывным станом: дис. ... канд. тех. Наук / И.И. Лубе. – М., 2010. – 143 с.

68. Минаев, А.А. Специфика использования катаной и непрерывнолитой заготовки для производства труб / А.А. Минаев, М. Захур, Ю.В. Коновалов // Производство проката. – 2005. – №4. – С. 29-37.

69. Фадеев, М.М. Освоение производства горячекатаных труб из непрерывнолитой заготовки углеродистой стали / М.М. Фадеев, С.Г. Чикалов, А.П. Коликов и др. // Труды третьего конгресса прокатчиков, г. Липецк, 2000 г. – С. 402-405.

70. Фадеев, М.М. Разработка и освоение технологии производства шарикоподшипниковых труб из непрерывнолитой заготовки / М.М. Фадеев, С.Г. Чикалов, В.Ю. Кузнецов и др. // Труды третьего конгресса прокатчиков, г. Липецк, 2000 г. – С. 405-407.

71. Чикалов, С.Г. Современное состояние и некоторые проблемы производства бесшовных труб в России / С.Г. Чикалов, И.В. Неклюдов, К.Л. Марченко и др. // Сталь. – 2004. – №9. – С. 41-44.

72. ОСТ 14-21-77 Заготовка трубная из углеродистых и низколегированных сталей.

73. Звонарев, Д.Ю. Математическое моделирование силового взаимодействия при винтовой прокатке / Д.Ю. Звонарев // Научный Поиск: материалы III научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. – Челябинск: издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Т.2. – С. 167-170.

74. Голубчик, Р.М. Новая методика расчета параметров настройки прошивных косовальковых станов / Р.М. Голубчик, Е.Д. Клемперт, С.В. Титова и др. // Производство проката. – 2001. – №8. – С. 20-23.

75. Потапов, И.Н. Технология производства труб / И.Н. Потапов, А.П. Коликов, В.Н. Данченко и др. – М.: Металлургия, 1994. – 528 с.

76. Hayashi S., Ymakawa T. // ISIJ International. 1997. V. 27, N 2. P. 146.

77. Матвеев, Б.Н. Новые исследования процесса прошивки заготовок в косовальковых станах / Б.Н. Матвеев, Р.М. Голубчик // Сталь. – 2000. – №1. – С. 53-58.

78. Голубчик, Р.М. Повышение эффективности процесса прошивки заготовок с учетом исходной пластичности / Р.М. Голубчик, Д.В. Меркулов, С.В. Титова // Сталь. – 2001. – №1. С. 55-59.

79. Меркулов, Д.В. Прошивка заготовок на агрегатах с непрерывными и пилигримовыми раскатными станами / Д.В. Меркулов, Р.М. Голубчик, А.А. Клачков и др. // Черная металлургия. – 2011. – №12. – С. 58-62.

80. Голубчик, Р.М. Получение труб больших размеров на заводах России и Казахстана / Р.М. Голубчик, Д.В. Меркулов, М.В. Чепурин и др. // Черные металлы. – 2011. – №11. – С. 18-21.

81. Голубчик, Р.М. Моделирование формоизменения при прошивке заготовок в косовальковых станах / Р.М. Голубчик, Д.В. Меркулов, Е.Д. Клемперт и др. // Черные металлы. – 2008. – №11. – С. 11-15.

82. Golubchik, R.M. Lebedev, A.V. New methods piercing mills setting relating to the cyclic forming of hollows. History and future of seamless steel tubes // 7th International Conference, Karlovy Vary. 1990. November. P. 1/8-1/17.

83. Голубчик, Р.М. О показателе качества процесса формоизменения при обработке металлов давлением / Р.М. Голубчик, А.Е. Шелест, Д.В. Меркулов // Металлы. – 2009. – №1. – С. 21-24.

84. Клемперт, Е.Д. Диаметр прошиваемой заготовки и качество труб / Е.Д. Клемперт, Р.М. Голубчик, Д.В. Меркулов // Сталь. – 2006. – №4. – С. 56-57.

85. Богуславский, Г.В. Деформация в круглых телах при радиальном обжатии между плитами / Г.В. Богуславский // Изв. СССР. – 1959. – №1.

86. Швейкин, В.В. К вопросу о распределении пластической деформации при поперечной осадке цилиндрических тел / В.В. Швейкин, С.И. Орлов // Научные доклады высшей школы. Черная металлургия. – 1958. – №6.

87. Пляцковский, О.А. Деформация и механизм разрушения сердцевинны сплошных и внутренних поверхностей полых заготовок при прокатке на станах винтовой и поперечной прокатки / О.А. Пляцковский. – М.: Металлургиздат, 1963.

88. Финкельштейн, Я.С. Оценка и моделирование прошиваемости при кривой прокатке / Я.С. Финкельштейн // Теория прокатки (материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). – М.: Металлургиздат, 1962.

89. Финкельштейн, Я.С. Влияние деформации на образование осевой полости при винтовой прокатке / Я.С. Финкельштейн // Сварные и бесшовные трубы. Сб. статей УралНИТИ, вып. IV. – М.: Металлургия, 1965.

90. Безобразов, Ю.А. Методика «растяжение – сжатие» для физического моделирования процессов многостадийной пластической деформации металлов / Ю.А. Безобразов, Н.Г. Колбасников, А.А. Наумов // Сталь. – 2014. – №1. – С. 52-59.

91. Bezobrazov, Y.A. High Strength Dual-Phase Steel Structure Evolution During Hot Rolling / Y.A. Bezobrazov, N.G. Kolbasnikov, A.A. Naumov // Material Science & Technology. – 2012 Conference & Exhibition (MS&T'12) Thermal and Thermomechanical Processing Session. – Pittsburg, PA, USA. – P. 1054-1061.

92. Пат. 2250147 Российская Федерация, МПК В21В 19/04. Способ винтовой прошивки литой заготовки / Пумпянский Д.А., Марченко Л.Г., Фадеев М.М. и др. – Оpubл. 20.04.2005.

93. Меркулов, Д.В. Минимально возможная длина оправок для прошивки заготовок / Д.В. Меркулов, В.А. Топоров // Производство проката. – 2013. – №1. – С. 13-19.

94. Голубчик, Р.М. Режимы прошивки заготовок / Р.М. Голубчик, Д.В. Меркулов // Теория и практика металлургии. – 2006. – №6. – С. 105-111.

95. Голубчик, Р.М. Оценка режимов прошивки заготовок с учетом циклического формоизменения при винтовой прокатке / Р.М. Голубчик, Е.Д. Клемперт, Д.В. Меркулов // Металлы. – 2000. – №5. – С. 60-62.

96. Топоров, В.А. Освоение современной технологии производства труб из непрерывнолитых заготовок / В.А. Топоров, В.С. Толмачев, А.И. Степанов и др. // Сталь. – 2013. – №1. – С.39-43.

97. Ананьев, А.В. Совершенствование технологии прошивки непрерывнолитой заготовки с целью уменьшения количества дефектов «внутренняя плена» / А.В. Ананьев, Р.О. Бушин, О.А. Панасенко и др. // Сталь. – 2012. – №4. – С. 36-38.

98. Меркулов, Д.В. Особенности режимов прошивки непрерывнолитых заготовок на станах винтовой прокатки / Д.В. Меркулов, В.А. Топоров, М.В. Чепурин // Черные металлы. – 2013. – №1. – С. 18-23.

99. Голубчик, Р.М. Определение системы использования ресурса пластических свойств при горячей обработке металлов давлением / Р.М. Голубчик // Металлы. – 2009. – №1. – С. 21-24.

100. Клемперт, Е.Д. Точность толщины стенки труб и потери металла / Е.Д. Клемперт // Достижения в теории и практике трубного производства. – Екатеринбург. – 2004. – С. 143-150.

101. Голубчик, Р.М. Расчет коэффициентов осевой и тангенциальной скоростей по длине очага деформации при пинтовой прокатке / Р.М. Голубчик, Д.В. Меркулов, М.В. Чепурин // Черная металлургия. – 2011. – №1. С. 54-57.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

«УТВЕРЖДАЮ»
 Главный инженер ОАО «ВТЗ»
 Н.В. Трутнев
 _____ 20 14 г.



внедрения методики твердотельного 3D моделирования процесса прошивки при освоении прошивного стана в трубопрокатном цехе № 3 «Волжского трубного завода»

В настоящее время на ОАО «ВТЗ» освоили производство непрерывно-литой круглой заготовки, что позволило отказаться от пресс - валковой прошивки, и операция прошивки осуществляется на прошивном стане, реализующего классическую схему двухвалковой винтовой прошивки с бочковидными валками и с направляющими неподвижными линейками.

В связи с изменением технологии производства труб в ТПЦ-3 в 2010 году проходило освоение новой технологии.

В освоении производства труб на реконструированном ТПА принимали участие аспиранты кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» «Южно-Уральского государственного университета».

Аспиранты: Король А.В. и Корсаков А.А., разработали методику твердотельного 3D моделирования процесса прошивки, которая позволила специалистам завода:

- производить настройку и перенастройку прошивного стана в период освоения новой технологии, при отсутствии устоявшихся таблиц настройки для нового прокатного инструмента прошивного стана;
- проектировать новый прокатный инструмент прошивного стана, в том числе для получения гильз под новые калибры непрерывного стана;
- сократить расход металла за счет уменьшения количества настроечных заготовок.

В настоящее время разработанная методика применяется специалистами ОАО «ВТЗ» для проектирования нового прокатного инструмента прошивного стана, а так же при необходимости перенастройки прошивного стана на новые размеры гильз, отсутствующих в таблицах прокатки.

Начальник ТУ




Д.В. Лоханов

Начальник ТПЦ-3

О.В. Сердюк

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



внедрения программы для ЭВМ «Korx2»

Разработчики: А.В. Курятников, А.В. Король, А.А. Корсаков,
Д.Ю. Звонарев.

Основание для разработки: Ограниченные возможности имеющегося программного обеспечения для расчета основных настроечных параметров прошивного стана. Невозможность оперативного корректирования при настройке прошивного стана с помощью твердотельного 3D моделирования. Необходимость в специалистах, владеющих CAD системами.

Место внедрения: ТПА «159-426» (ТПЦ-3) ОАО «ВТЗ»

Форма внедрения: установка на ПК прокатного бюро технического управления, начальника горячего проката ТПЦ-3, калибровщиков цеха, пульта прошивного стана.

Дата начала тестирования: 01 сентября 2011 г.

Дата внедрения: 01 декабря 2011 г.

Результаты применения: сокращение времени на расчет настроечных параметров прошивного стана, возможность проектирования нового прокатного инструмента прошивного стана.

Эффективность внедрения: программа удобна в использовании, не требует от оператора специальных навыков (знание CAD систем), позволяет сократить время настройки прошивного стана и снизить расход металла за счет уменьшения количества настроечных заготовок.

Начальник ТУ

Начальник ТПЦ-3

Д.В. Лоханов

О.В. Сердюк