

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт

Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ /Радионова Л.В./

_____ 2020 г.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ
КРУГЛЫХ ПРОФИЛЕЙ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА

ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 118-093 – 00.00.00 ПЗ

Нормоконтролер

_____ *ст. преп.*

Соседкова Марина Алексеевна

_____ 2020 г.

Руководитель работы

_____ *ст. преп.*

Соседкова Марина Алексеевна

_____ 2020 г.

Автор работы

студент группы П-438

_____ *Кайданов Семён Александрович*

22.06. 2020 г.

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Кайданов С.А. Моделирование процесса сортовой прокатки круглых профилей. - Челябинск: ЮУрГУ, 2020. - 36с., 4 табл., 27 илл., библиография литературы - 6 наименований, 2 листа чертежей А1, 1 лист А2, 6 листов чертежей А4

В выпускной квалификационной работе был проведён литературный обзор существующих способов математического моделирования процессов ОМД. На основании этого было проведено моделирование процесса сортового проката для стана ДУО-180. Произведены необходимые расчёты и разработаны чертежи.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. Литературный обзор способов моделирования технологии процессов прокатки.....	7
1.1. Математическое моделирование.....	7
1.2. Опыт применения компьютерного моделирования процессов ОМД.....	9
1.3. Основы теории явного метода динамики.....	11
1.4. Программное обеспечение для математического моделирования процессов ОМД.....	13
1.5. Перспективы развития на ближайшее будущее.....	16
2. Анализ технологического процесса и основного оборудования лабораторного стана дуо 180.....	18
2.1. Основное оборудование лабораторного стана ДУО-180.....	18
2.2. Характеристика электроприводного стана	18
2.3. Описание рабочей линии клетки ДУО-180.....	19
2.4. Анализ технологического процесса.....	24
3. Расчёт формоизменения полосы применительно к существующим валкам стана ДУО-180.....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ.....	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	39

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование - очень важная составляющая современной науки. Оно является одним из основных методов познания различных процессов и явлений и стало широко применяться при исследовании и управлении металлургическими процессами. Поэтому вместе с построением конкретных моделей всё более значимым становится рассмотрение общих методологических вопросов моделирования.

Моделирование — воспроизведение характеристик некоторого объекта на другом материальном или мысленном объекте, специально созданном для их изучения.

Раскрывая понятие, отметим, что модель не должна являться описанием фактического устройства системы, а может имитировать систему или её поведение, обладая при этом свойствами «расщепляемости» и «сопрягаемости», что позволяет исследовать не только характеристики отдельных элементов, но и их влияние друг на друга в системе.

Модели могут быть концептуальные (феноменологические, словесные), физические, математические. Модель должна создавать возможности для последующих решений (генерирования гипотез), поэтому информацию в ней нужно приводить в удобной для восприятия форме. Подчеркнём, что модель - это упрощённое представление реальности; относительная простота модели — одна из главных её характеристик[1].

В данной работе было осуществлено моделирование сортовой прокатки круглого профиля диаметром 10 мм из квадратной заготовки со стороной 15 мм для лабораторного стана ДУО-180.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ

Модель представляет объект, систему или понятие (идею) в форме, отличной от формы их реального существования. Она помогает в объяснении, понимании или совершенствовании системы. Модель может быть точным повторением исходного объекта (при этом сделанным из другого материала и в другом масштабе), или отображать определённые свойства объекта[2].

1.1. Математическое моделирование

Математическое моделирование является эффективным средством анализа и понимания различных объектов нашего мира. Многие учёные внесли большой вклад в развитие математического моделирования применительно к процессам ОМД – В. Джонсон, Э. Томсен, Р. Хилл, А.И. Целиков, П.И. Полухин, И.Я. Тарновский, Г.Я. Гун, и др. Работы Г.Я. Гуна, А.П. Грудева, Б.В. Кучеряева, С.Е. Рокотяна, А.В. Выдрина и многих других посвящены анализу современных подходов к моделированию процессов обработки металлов давлением.

Конец XX века вполне можно считать началом отсчёта первого внедрения компьютерного моделирования процессов ОМД в промышленность. В то время предприятия Соединённых Штатов Америки начали использовать программный пакет ALPID. У этого продукта было много технических проблем, например, таких как длительное вычисление вследствие малой вычислительной мощности технических средств. К тому же пользователю было необходимо несколько раз останавливать процесс, чтобы вносить поправки в исходные данные. Этот пакет мог позволить решать только двумерные задачи (2D). Но несмотря на это, ALPID показал хорошие результаты, что позволило предприятиям и пользователям экономить средства,

необходимые для проведения экспериментов при разработке новых технологических процессов.

Со временем моделирование процессов ОМД стало важным составляющим при разработке технологического процесса.

Компьютерное моделирование процессов ОМД используется для прогнозирования заполнения полости штампа, возникновения дефектов, и т.д. Моделирование процессов ОМД основывается на том, что металл, находящийся в штампе, течёт в направлении наименьшего сопротивления. Сила деформирования определяется в зависимости от размера заготовки, ее формы, трения и свойств материала. Также при помощи моделирования можно определить такие важные параметры заготовки, как накопленная деформация, напряжение, температура, направление волокна заготовки, возможность разрушения заготовки, износ инструмента.

Исследования, которые проводятся в программах конечноэлементного моделирования, позволяют подобрать оптимальный технологический процесс при ОМД, материал в зависимости от напряженно-деформированного состояния конструкции, и его форму и др. Моделирование позволяет выявить напряженно-деформированное состояние как самой конструкции, так и формирующего элемента в любой точке модели и в любое время; критические, опасные зоны и участки модели, в которых возможно появление разрушения или деформации конструкции; силовые, энергетические, деформационные, контактные величины при взаимодействии частей модели и многое другое.

Введение компьютерного моделирования в производство серьёзно повлияло на подход к разработке технологических процессов. Сейчас вузы и промышленные предприятия понимают важность моделирования процессов обработки металлов давлением и поэтому стали уделять больше внимание этому направлению. Для этого даже делают

отдельные дисциплины. Всё это позволяет более наглядно и детально разобраться в процессах, а также самим участвовать и влиять на ход работы[3].

1.2. Опыт применения компьютерного моделирования процессов ОМД

Опыт применения компьютерного моделирования процессов ОМД часто фигурирует в разных источниках. Здесь же мы рассмотрим более простые задачи, которые решают методом компьютерного моделирования:

-прогнозирование дефектов. Как видно на рисунке 1.1 (слева) показан результат моделирования процесса прессования детали. Хорошо видно, что на дне стакана образуется складка. Позже это подтвердилось на практике, что мы и можем наблюдать на рисунке 1.1 (справа);

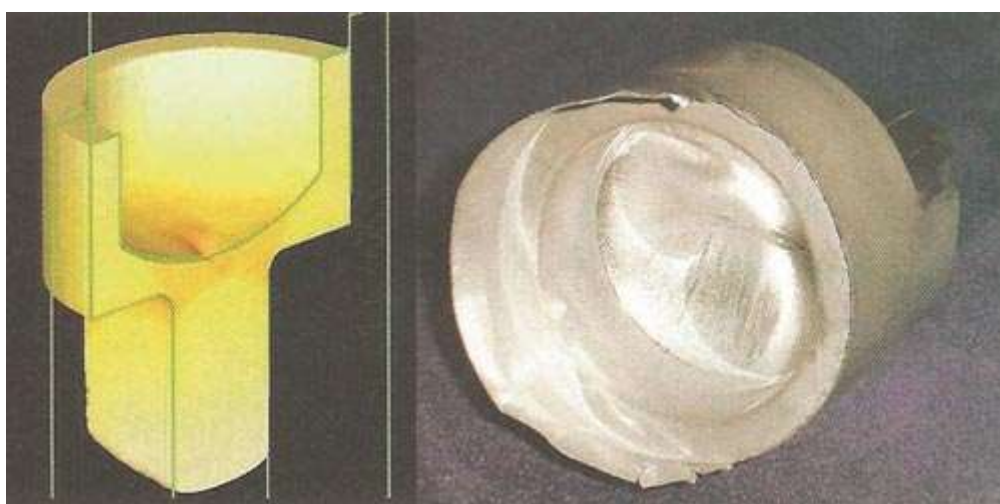


Рисунок 1.1. Модель прессование детали из алюминия

-разработка новых технологических процессов. Современный мир очень сложен. Предприятия конкурируют между, стараясь удешевить свою продукцию, при этом не теряя, а порой даже повышая, качество

изделий. Такие условия вынуждают придумывать, создавать новые технологии, решения и прочее для достижения вышеперечисленных целей, дабы удержаться на плаву экономики.

Вот например косозубое колесо. Несколько лет назад его получали механической обработкой из круглой поковки или из прутка. Сегодня их можно получать холодным прессованием или горячей объёмной штамповкой с близкими по форме к окончательному виду зубьями. Для этого, как раз, подходит моделирование, позволяющее разработать процесс и посмотреть на результаты, как показано на рисунке 1.2;

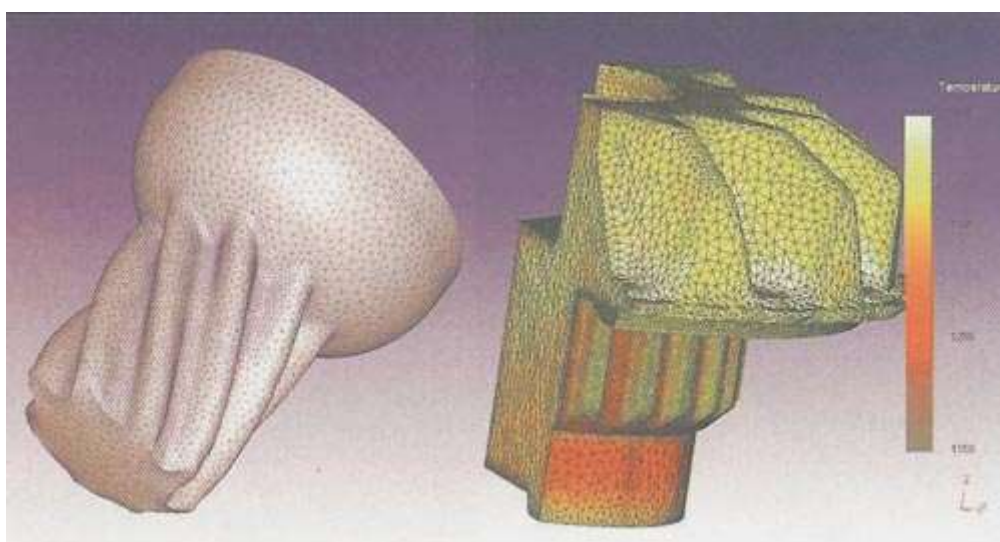


Рисунок 1.2. Моделирование технологических процессов холодного прессования зубчатых колес (слева) получения их методами горячей объёмной штамповки (справа)

-оптимизация существующей технологии. На рисунке 1.3 представлены технологические переходы штамповки проушины баллона для сжатого воздуха. Этот процесс имел некоторое количество недостатков, таких как быстрый износ инструмента, образование складок, трудности удаления заготовки из полости штампа. Из-за этого на выходе получалось около 11% брака. Для минимизации этих недостатков было предложено несколько различных вариантов незначительной модернизации процесса.



Рисунок 1.3. Проушины баллона для сжатого воздуха

Моделирование позволило оценить влияние различных вариантов на результат. Раз за разом, исправляя ошибки, корректируя недочёты, достаточно быстро и без финансовых потерь на проведение опытов, всё-таки получилось найти оптимальный подход к производству проушины и снизить процент брака.

Из примеров очень хорошо видно, что моделирование позволяет заглянуть в суть процесса. Мы мало того, что просто проверяем, как пойдёт процесс, так ещё и узнаём много нового. Моделирование заставляет нас обращать внимание на всевозможные мелочи и нюансы процесса. Со всех сторон изучить его. Но как бы ни было хорошо моделирование, без технолога, настоящего специалиста, оно не имеет смысла. Ведь оно лишь помогает, а не делает работу за нас. Со временем многое может измениться, ведь прогресс не стоит на месте. Но на данный момент профессиональный технолог - это ключевое звено в цепочке качественного производства[4].

1.3. Основы теории явного метода динамики

В этом пункте будут рассмотрены основы явного метода динамики, чтобы было понятно, как в принципе работает моделирование. Это очень сложный процесс, который любит детали и точность и не любит ошибок.

Явными (Explicit) методами называют методы решения уравнений динамики, не связанные с решением систем уравнений, но использующие рекуррентные соотношения, которые выражают перемещения, скорости и ускорения на данном шаге через их значения на предшествующих шагах. В случае использования диагональной матрицы масс (вместо стандартной – согласованной разряженной) удастся ее обратить, упростив тем самым расчет и многократно уменьшив время одной итерации (посредством замены триангуляции матриц с решениями при переменных уравнивающих нагрузках на матричные умножения). Такая методика предполагает малые шаги и достаточно мелкую разбивку, чтобы правильно описать диагональной матрице распределения масс. В качестве компенсации малый шаг позволяет отследить все изменения в характеристиках конструкции и в ее поведении. Все нелинейности (включая контакт) учитываются в векторе внутренних сил. Основное время занимает не формирование и обращение матриц, а вычисление этого вектора. Из-за очень малого размера шага (на практике $10^{-7} - 10^{-6}$) явные методы обычно применяются только для расчета кратковременных процессов. В программном продукте LS-DYNA при явном интегрировании применяется метод центральных разностей, когда ускорение полагается постоянным в течение шага. Для трех последовательных моментов времени принимается квадратичная аппроксимация вектора перемещений. При использовании явного метода решения применяется метод центральных разностей – это ускорение, оцененное за время t :

$$A_t = [M]^{-1} (F_t^{\text{ext}} - F_t^{\text{int}}), \quad (1.1.)$$

где a_t – вектор ускорения;

F_t^{ext} – приложение внешней силы;

F_t^{int} – внутренние силы.

$$F_t^{\text{int}} = \sum (\int_{\Omega} B^T * \sigma_n * d * \Omega * F^{\text{hg}}) + F^{\text{cont}}, \quad (1.2.)$$

где F^{hg} – сила сопротивления искажению hourglass («паразитная» форма деформации, которая может вызвать аварийную остановку расчетной задачи);

F^{cont} – контактная сила.

Исходя из полученных значений ускорений (a_t) вычисляются скорости и перемещения: □

$$\{V_{t+\Delta t/2}\} = \{V_{t-\Delta t/2}\} + \{a_t\} \Delta t \quad (1.3)$$

$$\{U_{t+\Delta t/2}\} = \{U_t\} + \{V_{t-\Delta t/2}\} \Delta t_{t+\Delta t/2}, \quad (1.4)$$

Где $t_{t+\Delta t/2} = 0,5(\Delta t + \Delta t_{t+\Delta t})$; □

$$\Delta t_{t-\Delta t/2} = 0,5(\Delta t - \Delta t_{t+\Delta t}) \quad (1.5)$$

Геометрия обновляется добавлением приращения перемещения и исходной геометрии: □

$$\{x_0\}; \{x_{t+\Delta t}\} = \{x_0\} + \{u_{t+\Delta t}\} \quad (1.6)$$

Критический шаг для участка длиной L будет равен: □

$$\Delta t^{crit} = L/c, \quad (1.7)$$

где c – скорость прохождения звука для используемого материала.

Для увеличения стабильности процесса используют по умолчанию масштабный коэффициент 0,9:

$$\Delta t^{crit} = 0,9L/c \quad (1.8)$$

Для конечных элементов величина L зависит от длины конечного элемента:

$$L = A / \max(L1, L2, L3, L4) \quad (1.9)$$

Для оболочных элементов:

$$L = 2A / \max(L1, L2, L3, L4) \quad (1.10) [3].$$

1.4. Программное обеспечение для математического моделирования процессов ОМД

Рассмотрим аналоги программного обеспечения для математического моделирования процессов ОМД, их краткое описание.

Это такие пакеты как MSC Nastran, Marc, Dytran, PAM-STAMP 2G, QForm 3D, ANSYS, представленные в таблице 1[6] .

Все рассмотренные в таблице программные продукты подходят для исследовательских и научных организаций, для глубокого анализа исследуемых процессов.

Таблица 1. Программы конечно-элементного моделирования и их краткое описание

Назначение	Применяется в ОМД	Универсальная/специализированная
MSC Nastran Обеспечивает полный набор расчетов, программа очень универсальна, подойдет для множества задач.	4	Универсальная
Marc Отличная программа, которая также способна решать задачи теплопередачи. Можно использовать как для моделирования прокатки, так и для прессования листа.	5	Универсальная
Dytran Система анализа высоконелинейных быстротекущих процессов, связанных с взаимодействием конструкции и жидкости (газа) или конструкции и конструкции. Если нужно решить задачу с быстротекущими процессами, смело пользуйтесь этой программой. Многие компании используют эту программу, начиная от автомобилестроения, заканчивая аэрокосмическими предприятиями. Внимание, не является универсальной.	4	Специализированная
PAM-STAMP2G Применяется для всего, что связано с листовой штамповкой. PAM-STAMP 2G – специально-ориентированное средство разработки и анализа для проектных организаций, КБ и предприятий автомобильной и аэрокосмической промышленности.	5	Специализированная
QForm 3D Основана на методе конечных элементов (ядро системы), предназначена для проектирования оснастки, штампового инструмента, моделирования штамповки,ковки и других процессов ОМД, оптимизации технологических процессов. Конечно-элементные алгоритмы специальным образом адаптированы для расчета процессов формоизменения.	5	Специализированная
DEFORM Специализированный инженерный программный комплекс, предназначенный для анализа процессов обработки металлов	5	Специализированная

Продолжение таблицы 1

Назначение	Применяется в ОМД	Универсальная/специализированная
давлением, термической и механической обработки, позволяет моделировать практически все процессы, применяемые в обработке металлов давлением (ковка, штамповка, прокатка, прессование и др.), а также операции термической обработки (закалка, старение, отпуск и др.) и механообработки (фрезерование, сверление и др.).		
LS-DYNA Достаточно популярная программа, которая присутствует на рынке и модернизируется уже более 30 лет. Решает очень много задач, как линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), так и задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.	5	Универсальная

* – Оценка по 5-балльной системе

Эти программы делятся на универсальные и специализированные. Универсальные позволяют решать более широкий круг задач, более гибки к нестандартным и сложным задачам. Однако они сложны в обучении, требуют наличия специальных знаний в области исследуемых задач и основ конечно-элементного моделирования.

Специализированные программы направлены на определённый класс задач, просты в обучении и не требуют глубокого знания процесса и отдельных дополнительных знаний, отличных от исследуемого процесса. Однако такие программы не обладают достаточной гибкостью и позволяют решать лишь определённый класс задач. [3].

1.5. Перспективы развития на ближайшее будущее

Прогресс идёт, всё развивается и моделирование не является исключением. Но какие направления развития моделирования наиболее перспективны в настоящее время? Выделю следующие из них:

-искажения при механической обработке. При ОМД возникают внутренние напряжения. После снятия нагрузок, они приходят в равновесие. Но при дальнейшей механической обработке с поверхности заготовки удаляется часть материала, и равновесие внутренних напряжений нарушается. Из-за чего происходит искажение формы заготовки;

-оптимизация геометрии гравюры штампа. Работа над средствами оптимизации, позволяющими проектировать в полностью автоматическом режиме геометрию поверхности ручья штампа ведётся уже давно. На сегодня лучшим проектировщиком штамповой оснастки остаётся человек. Однако наработки, которые существуют уже сейчас, позволяют предположить, что уже в скором будущем этот процесс будет автоматизирован[4].

2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТАНА ДУО-180.

2.1. Основное оборудование лабораторного стана ДУО-180.

В состав лабораторного непрерывного двухклетьевого реверсивного стана 180 входит следующее основное оборудование:

- моталки с приводом;
- клетки рабочие с горизонтальным расположением валков;
- привод рабочих валков, включающих шестеренные клетки, редукторы с переменным передаточным отношением $I = 20$ и $I = 36$, электродвигатели привода рабочих валков ;
- пульт управления ;
- шкафы [5].

2.2. Характеристика электроприводного стана

Рабочие валки клетки ДУО-180 приводятся от электродвигателя постоянного тока типа П-81 напряжением 220 В, ток якоря 175 А, мощность 32 кВт и скоростью вращения ротора 1500 мин⁻¹, энкодером и регулированием частоты вращения в пределах 0...1500 мин⁻¹ с тиристорными преобразователями.

Номинальный момент электродвигателя - 200 Н*м. Допускается кратковременная перегрузка двигателя по моменту до 400 Н*м.

Нажимные винты рабочей клетки приводятся от электродвигателя типа АИР80А4 с энкодером, мощностью 1,1 кВт, номинальной частотой вращения 1000 мин⁻¹, с частотным регулированием в

пределах $0...1500 \text{ мин}^{-1}$ через редуктор с передаточным отношением $I=52$

Привод моталки осуществляется от моторредуктора типа МШ2С125 с номинальной частотой вращения выходного вала - 63 мин^{-1} , электродвигателем типа АИР12М14 с энкодером, мощностью 5,5 кВт и частотным регулированием в пределах $0...1500 \text{ мин}^{-1}$ и динамическим торможением двигателя[5].

Контролируемые параметры лабораторного стана ДУО-180 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Контролируемые параметры стана ДУО-180

№ п/п	Контролируемые параметры стана
1	Ток якорной цепи электродвигателей привода валков клетки 1
2	Ток якорной цепи электродвигателей привода валков клетки 2
3	Частота вращения ротора электродвигателей привода валков клетки 1
4	Частота вращения ротора электродвигателей привода валков клетки 2
5	Частота вращения вала электродвигателя привода моталки 1
6	Частота вращения вала электродвигателя привода моталки 2
7	Ток электродвигателей привода моталки 1
8	Ток электродвигателей привода моталки 2
9	Усилие прокатки клетки 1
10	Усилие прокатки клетки 2
11	Крутящий момент в шпинделях клетки 1
12	Крутящий момент в шпинделях клетки 2
13	Перемещение нажимных винтов клетки 1
14	Перемещение нажимных винтов клетки 2

2.3. Описание рабочей линии клетки ДУО-180

Рабочая линия клетки ДУО-180 показана на рисунке 2.1. и состоит из рабочей клетки 6, шестеренной клетки 4, двухступенчатого цилиндрического редуктора 3, электродвигателя постоянного тока 1, а также из шпинделей карданного типа 5 и двух сцепленных муфт 2.

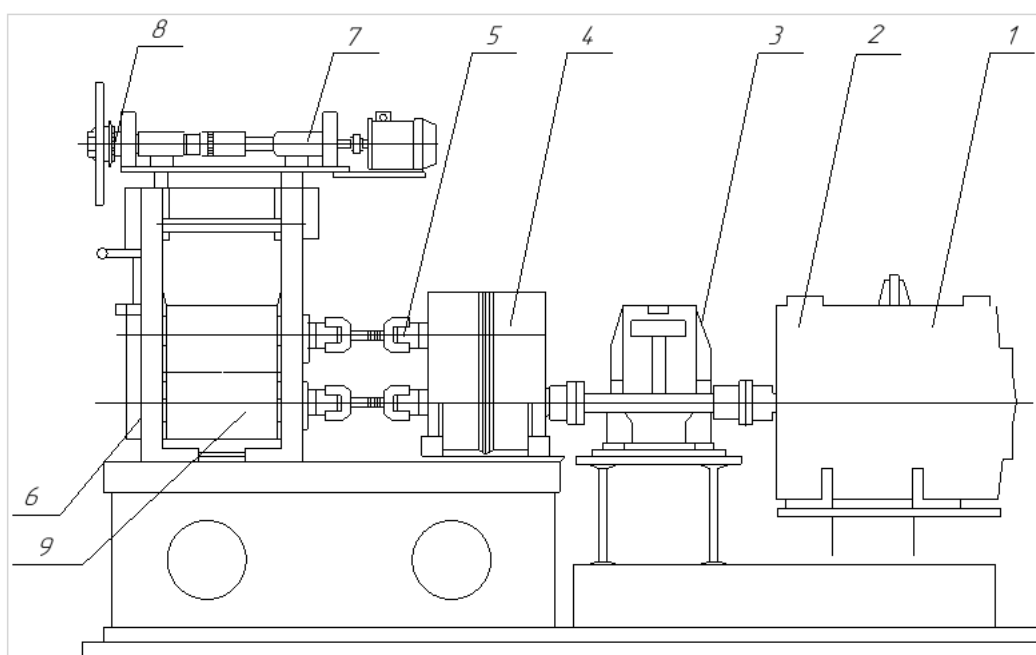


Рисунок 2.1. Общий вид рабочей линии клетки ДУО-180

Рабочая клетка 6 состоит из двух стальных литых станин закрытого типа. В станинах смонтированы подушки с валками, а также устройства для перемещения верхнего валка по высоте и его осевой фиксации. Вращение валка передаётся от шестеренной клетки 4, через шпиндели 5. Максимально допустимый крутящий момент, который способен передавать шпиндель $M_{\text{доп}}=2000$ Нм.

Валки установлены на подшипниках качения, помещённых в подушки. Диаметр рабочих валков 162...180 мм, длина бочки валка 200 мм.

С помощью нажимного механизма и уравнивающего устройства регулируется вертикальное положение валка, а осевая регулировка производится с помощью устройства осевой регулировки валков. Чтобы осуществить осевую регулировку, нужно сделать следующее. Нижний валок закрепляется в осевом направлении планкой, прижимающей фланец нижней подушки к рабочей клетки, а верхний валок при помощи устройства осевой регулировки устанавливается в соответствие с положением нижнего валка. Рабочий ход устройства осевой регулировки составляет 10 мм.

Регулировка межвалкового зазора производится с помощью пружинного уравнивающего и винтового с электромеханическим и дополнительным ручным приводом нажимного устройств, расположенных в верхней части клетки. Тип электродвигателя нажимного устройства АИР80А4. Мощность электродвигателя нажимного устройства $N_{дв.}=1,1$ кВт, частота вращения вала электродвигателя 0 1500 об/мин. Рабочий ход нажимного винта 50 мм, шаг резьбы 3 мм.

Вращение нажимных винтов осуществляется от электродвигателя АИР80А4 через червячную передачу с передаточным числом $i=14$. Для отдельной работы нажимных винтов имеется устройство с ручным приводом, позволяющее рассоединить зацепление привода нажимного устройства с одним винтом.

Шестеренная клеть 4 представляет собой раздаточную коробку с передаточным числом $i=1$ и служит для передачи вращения от

редуктора к шпинделям. Для контроля состояния зубчатой передачи шестеренной клетки предусмотрена смотровая крышка.

Диаметр выходного вала редуктора $D_{ред.2}=65$ мм, диаметр входного вала шестеренной клетки $D_{ш.к.1}=90$ мм, диаметры выходных валов шестеренной клетки $D_{ш.к.2}=75$ мм.

На выходной вал шестеренной клетки 4 передается момент с выходного вала редуктора 3 через втулочно-пальцевую муфту 2.

Привод прокатного стана ДУО-180 осуществляется от электродвигателя постоянного тока типа П81 мощностью 32 кВт и скоростью вращения якоря 1500 об/мин. Скорость вращения якоря двигателя управляется с помощью тиристорных преобразователей АТРК250/4602У2. Номинальный момент на валу электродвигателя 200 Нм.

Электродвигатель передает вращение через втулочно-пальцевую муфту 2 на входной вал редуктора РМ350. Диаметр входного вала $D_{ред1}=40$ мм, передаточное число редуктора $i=20$.

Прокатная клетка ДУО 180 предназначена для проведения лабораторных работ, научной деятельности и производства небольших партий сортовых профилей и полос. Общий вид прокатной клетки приведён на рисунке 2.2. Модель валков лабораторного стана представлена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.2. Общий вид прокатной клетки

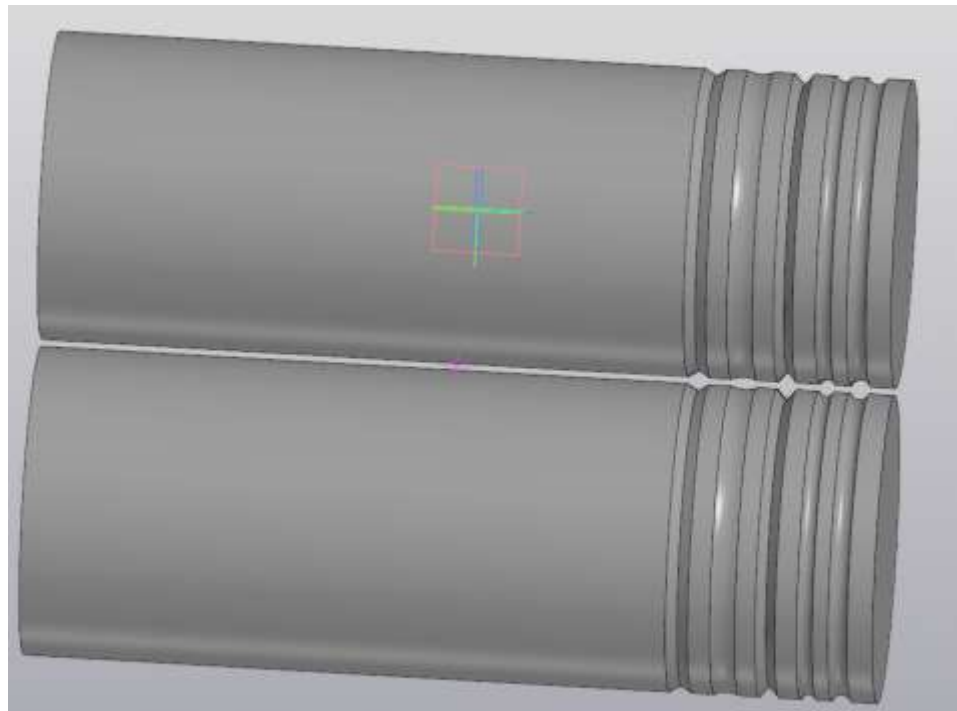


Рисунок 2.3. Модель валков лабораторного стана ДУО-180

Рабочая клеть состоит из 2 стальных литых станин закрытого типа. В станинах смонтированы подушки с валками, а также устройства для перемещения верхнего валка по высоте и его осевой фиксации.

Вращение валка передается от шестеренной клетки, через шпиндели. Максимально допустимый момент, который может передавать шпиндель $M_{доп.}=2000$ Нм. Валки установлены на подшипниках качения, помещенных в подушки.

Регулирование положения верхнего валка в осевом направлении производится с помощью устройства осевой регулировки валков, а в вертикальной плоскости — с помощью нажимного механизма и уравнивающего устройства. Осевая регулировка валков выполняется следующим образом.

Нижний валок закрепляется в осевом направлении планкой. Прижимающей фланец нижней подушки к рабочей клетке. а верхний валок при помощи устройства осевой регулировки устанавливается в соответствие с положением нижнего валка. Рабочий ход устройства осевой регулировки составляет 10мм.

Регулировка межвалкового зазора производится с помощью пружинного уравнивающегося и винтового с электромеханическим и дополнительным ручным (для более тонкой настройки) приводом нажимного устройств, расположенных в верхней части клетки Тип электродвигателя нажимного устройства АИР80А4. Мощность электродвигателя нажимного устройства $N_{дв.}=1,1$ кВт, частота вращения вала электродвигателя – 1500 об/мин. Рабочий ход нажимного устройства составляет 50мм, скорость установки валков 2мм/с, диаметр нажимного винта 50мм,

шаг резьбы 3мм. Вращение нажимных винтов осуществляется от электродвигателя АИР80А4 через червячную передачу с передаточным числом $i=14$. Для отдельной работы нажимных винтов имеется устройство с ручным приводом, позволяющее рассоединять зацепление привода нажимного устройства с одним винтом[6].

Таблица 3. Техническая характеристика стана ДУО 180

Параметр	Значение	Единица
Диаметр валков	160...1800	мм
Длина бочки валка	200	мм
Межосевое расстояние между валков	180...280	мм
Скорость прокатки	0...0,3	м/с

2.4. Анализ технологического процесса

Этапы технологического процесса.

1. Измерительным инструментом фиксируем геометрические размеры заготовки, как показано на рисунке 2.4.

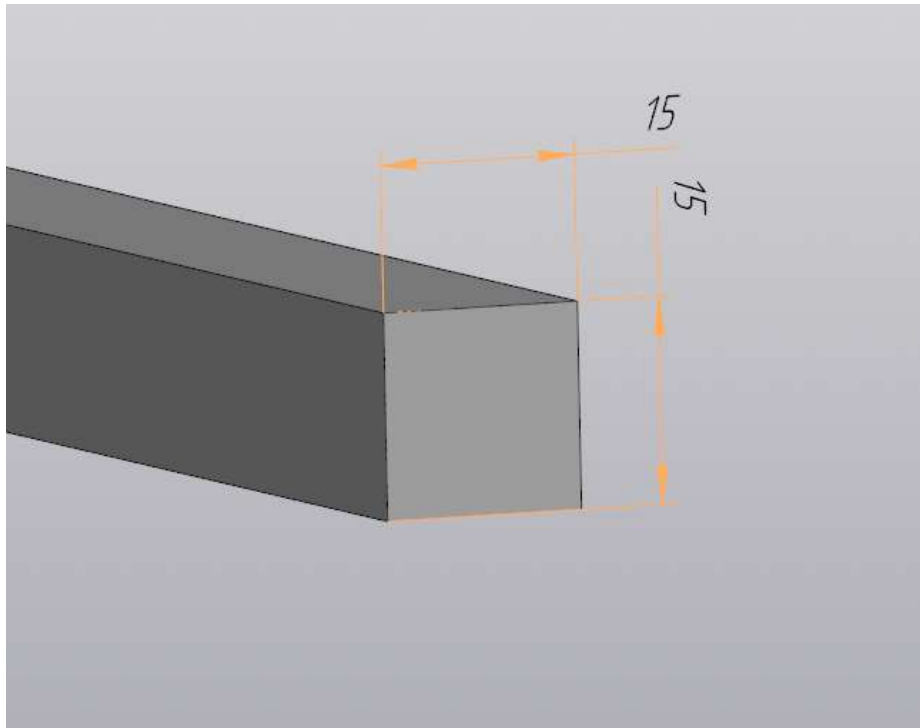


Рисунок 2.4. Модель заготовки

2. Алюминиевую заготовку квадратного сечения со стороной 15 мм при температуре 20⁰С прокатываем на гладкой бочке с обжатием 4 мм для уменьшения размера заготовки по сечению. Модель приведена на рисунках 2.5, 2.6.

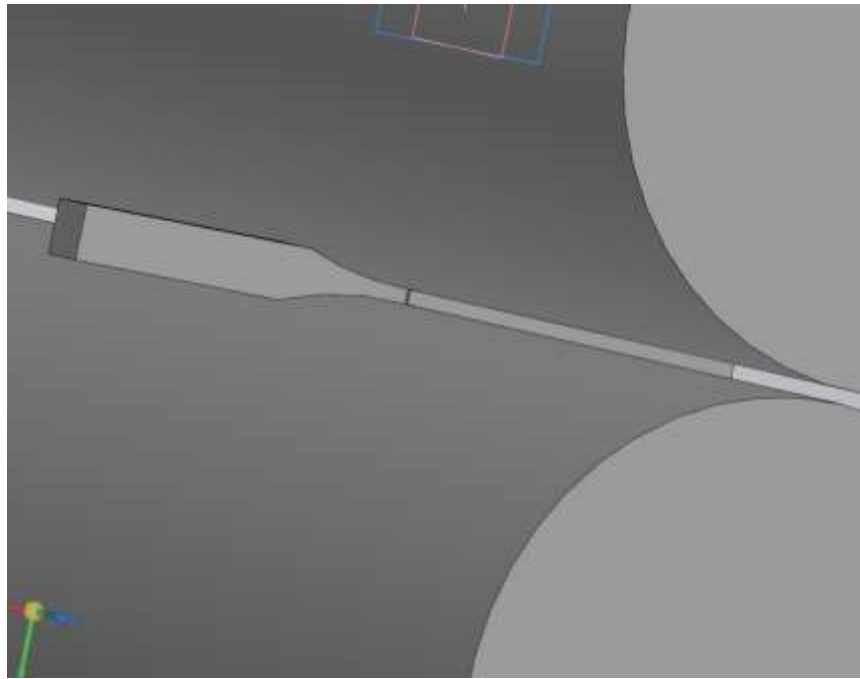


Рисунок 2.5. Подача заготовки к валки

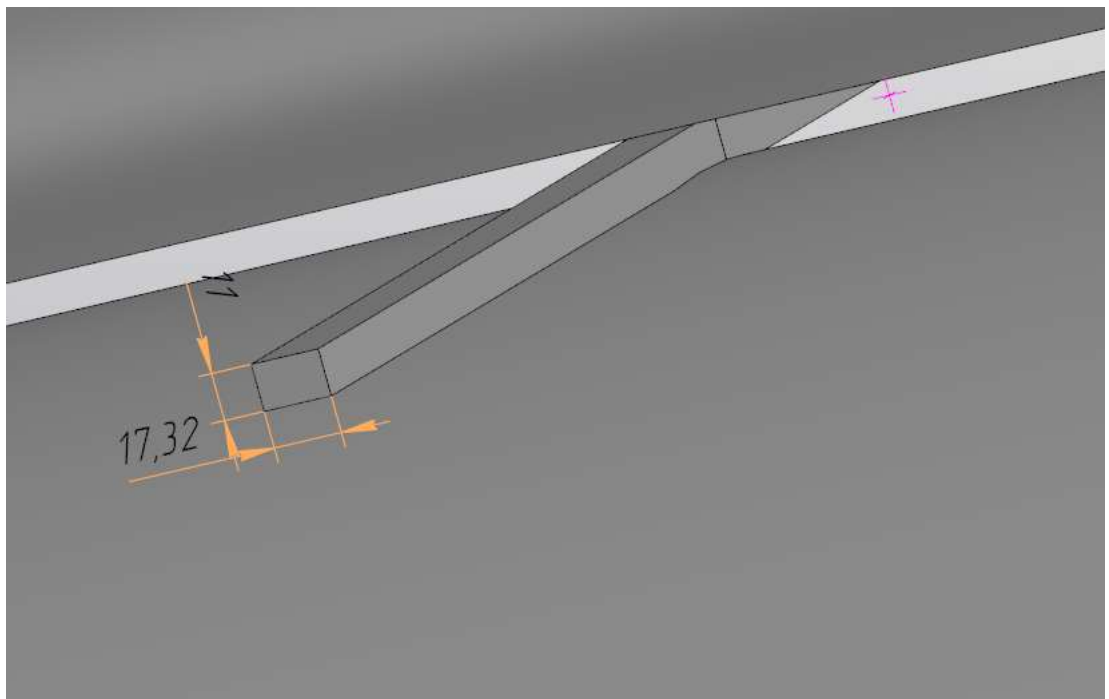


Рисунок 2.6. Заготовка после проката

3. Получившуюся заготовку прямоугольного сечения кантуем на 90° , после чего снова прокатываем на гладкой бочке с обжатием 4,18 мм, в

результате чего получаем квадратное сечение со стороной 9,3 мм, как показано на рисунках 2.7, 2.8.

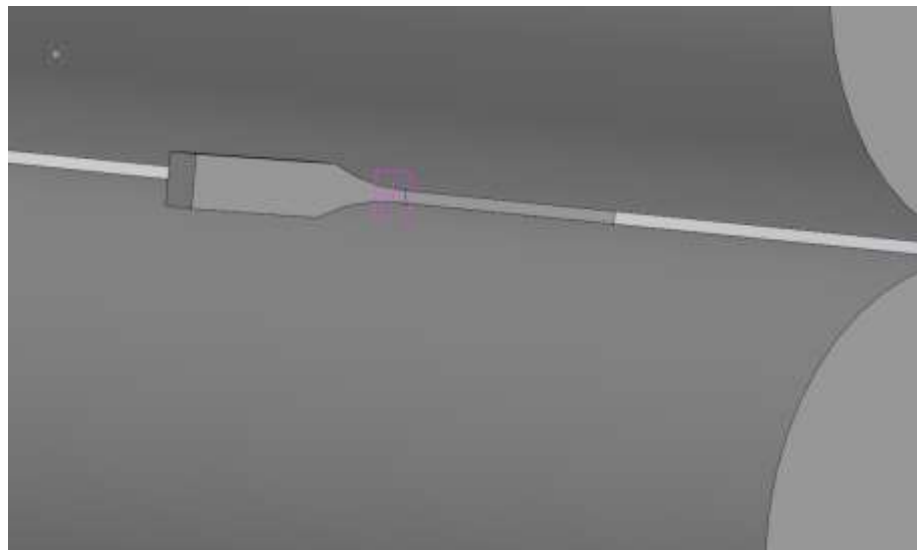


Рисунок 2.7. Подача заготовки во втором проходе

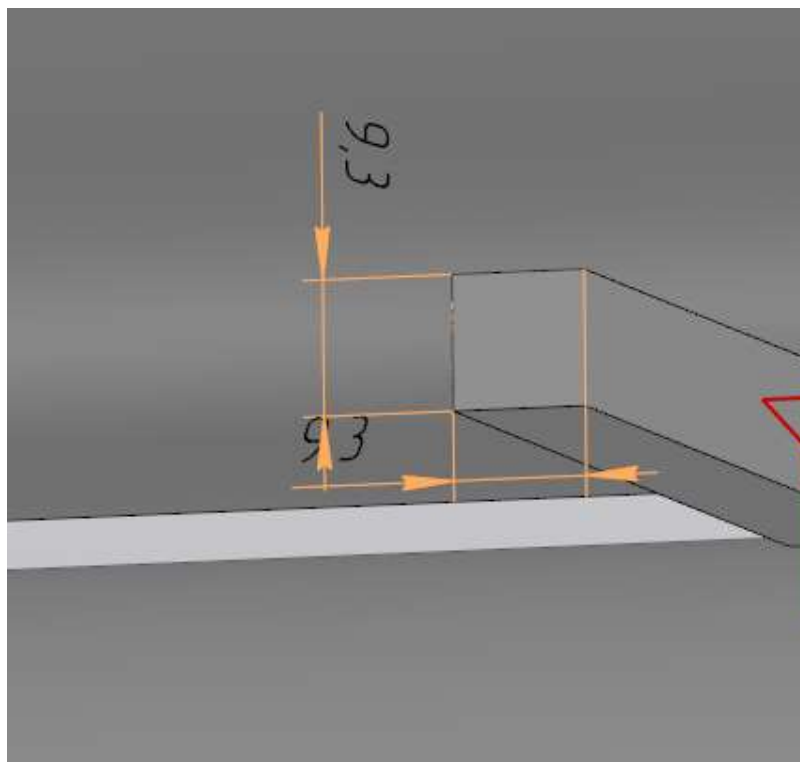


Рисунок 2.8. Заготовка после второго прохода

4. Кантуем заготовку на 90° , задаём в овал и обжимаем заготовку на 6,14 мм, как показано на рисунках 2.9, 2.10.

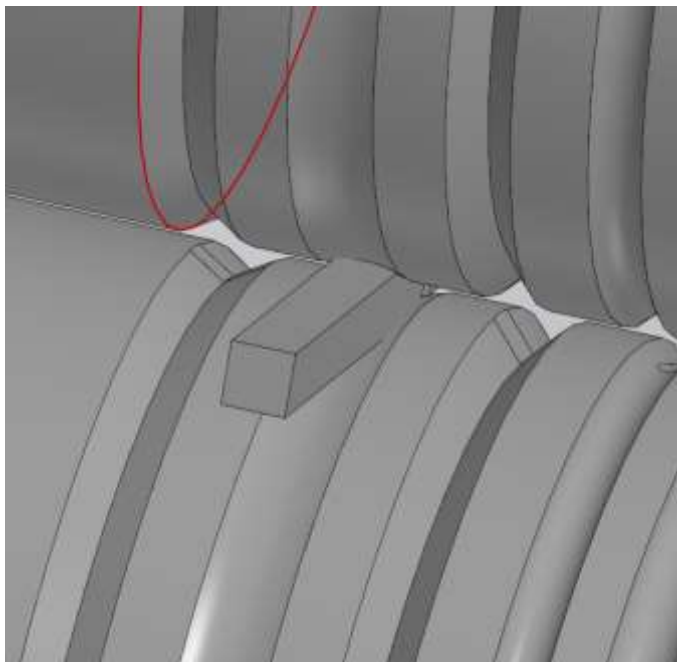


Рисунок 2.9. 3 проход, подача заготовки в овал

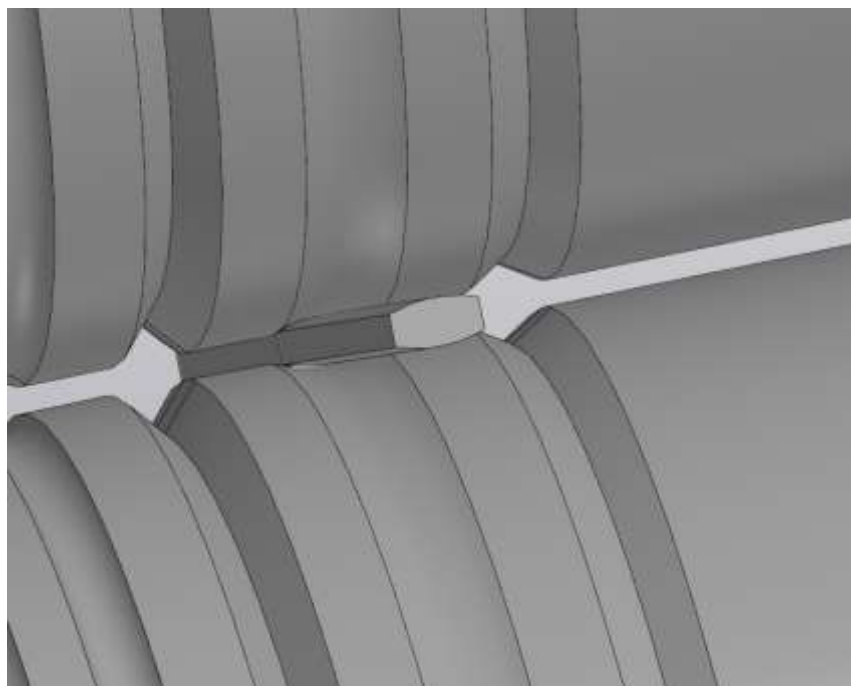


Рисунок 2.10. Заготовка после 3 прохода

5. Кантуем заготовку на 90° и задаём в круг 12, как показано на рисунках 2.11, 2.12.

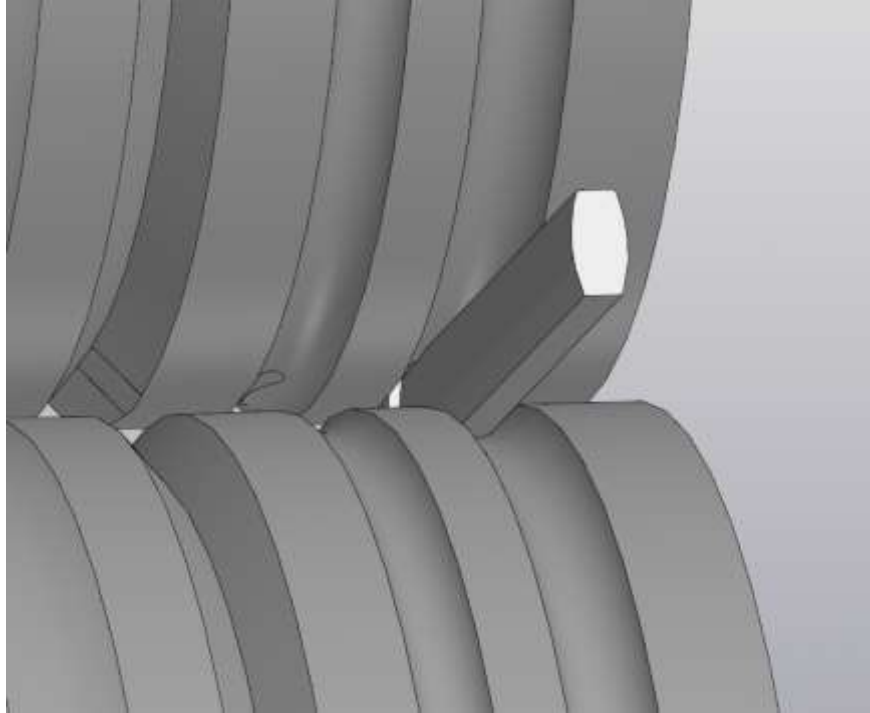


Рисунок 2.11. 4 проход заготовки в круг 12

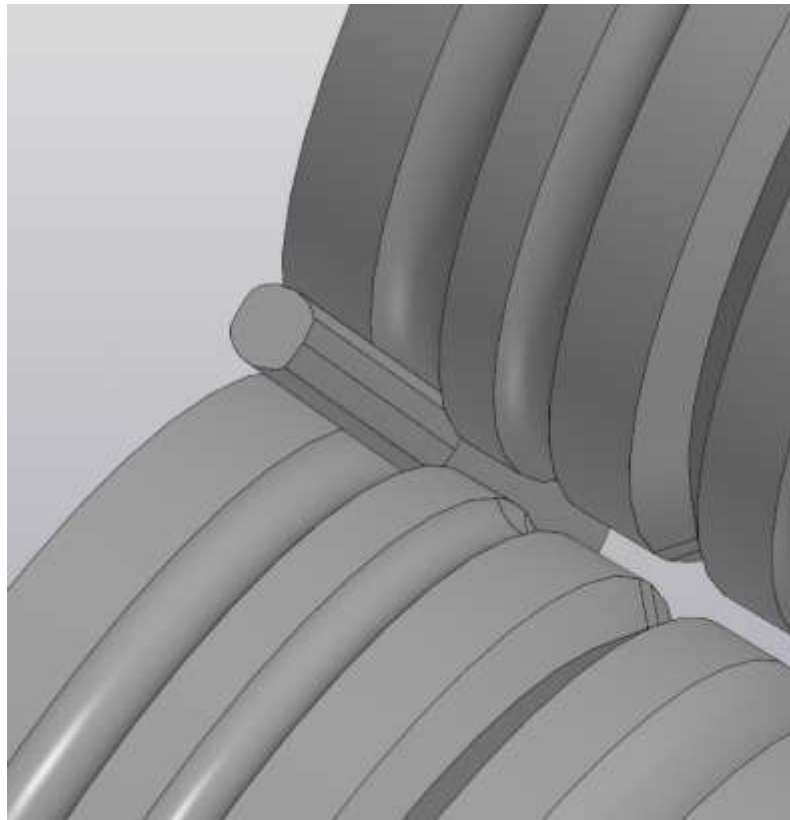


Рисунок 2.12. Заготовка после 4 прохода

6. Получившуюся заготовку кантуем на 90° и задаём в овал с обжатием 3,3 мм, как показано на рисунках 2.13, 2.14.

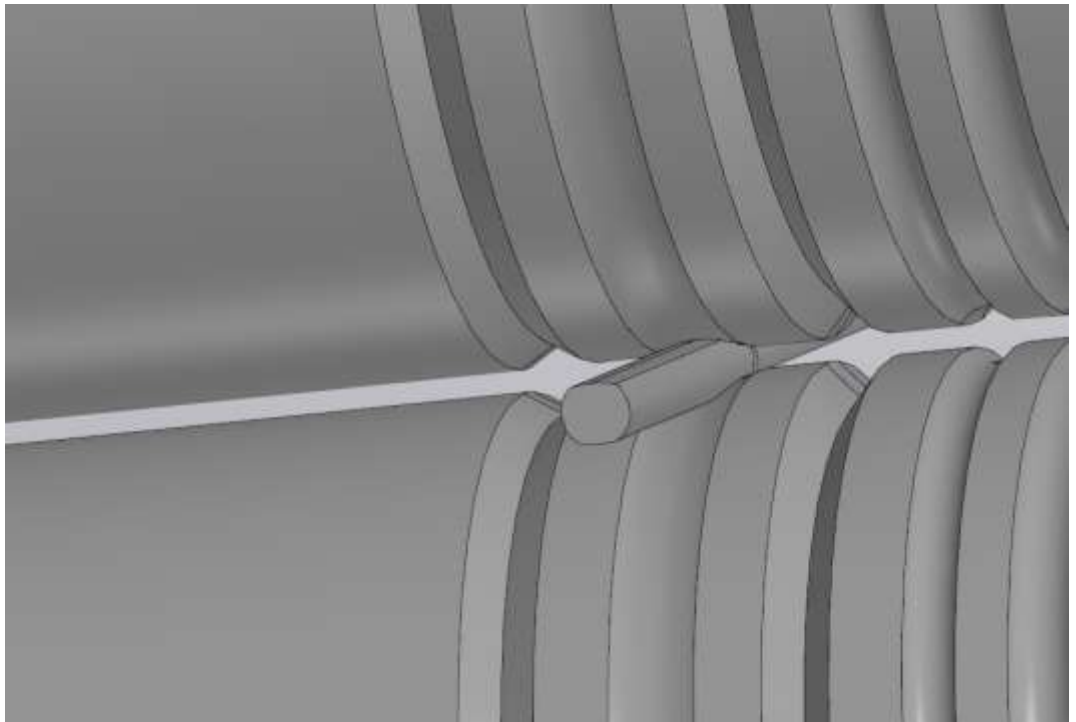


Рисунок 2.13. Подача заготовки в овал

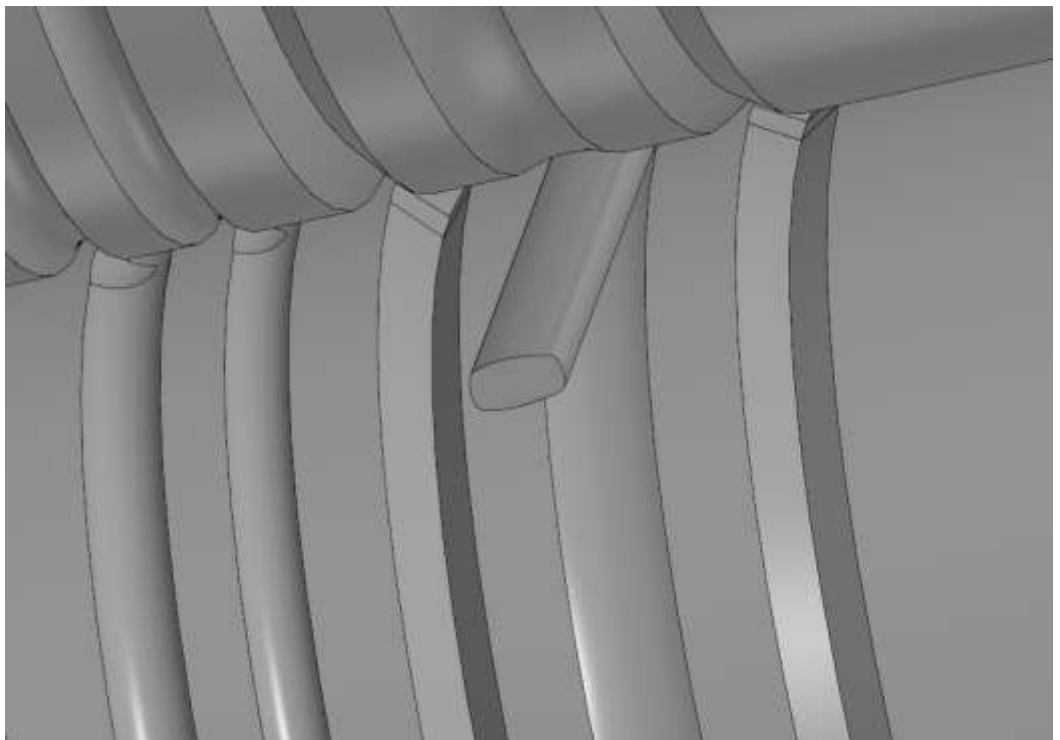


Рисунок 2.14. Полученная заготовка после 5 прохода

7. Кантуем заготовку на 90° и задаём в круг 10, для получения требуемого сечения, как показано на рисунках 2.15, 2.16.

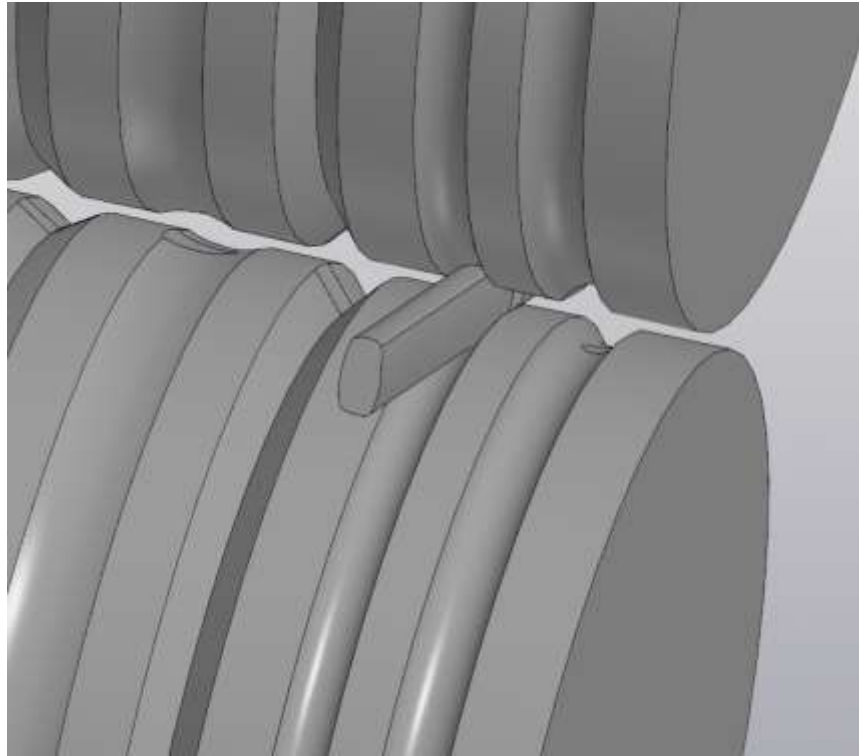


Рисунок 2.15. Подача заготовки в круг 10.

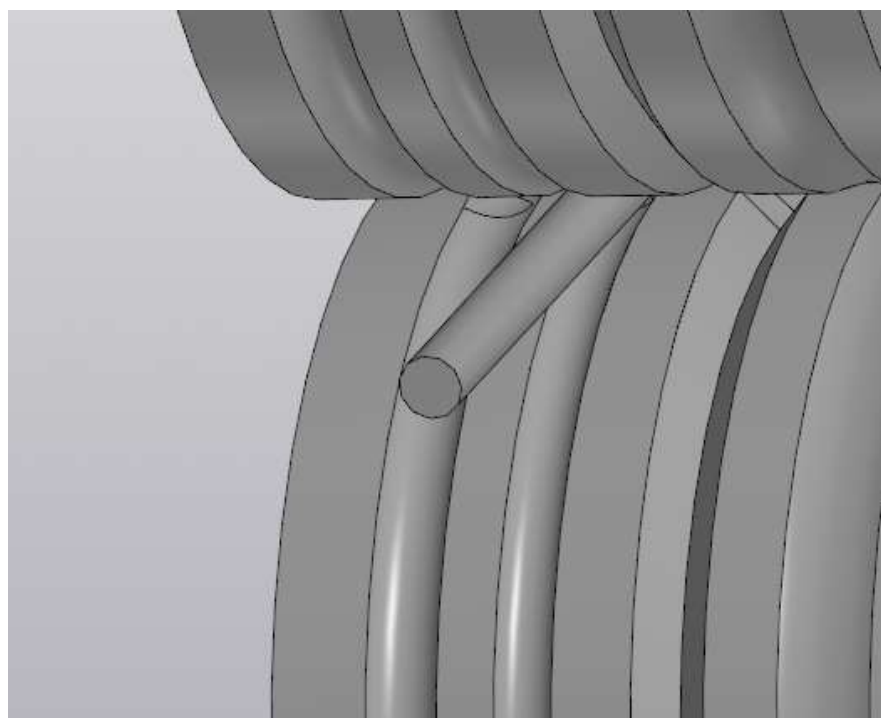


Рисунок 2.16. Получение готового сечения

8. Делаем контрольные измерения полученного изделия, как показано на рисунке 2.17.

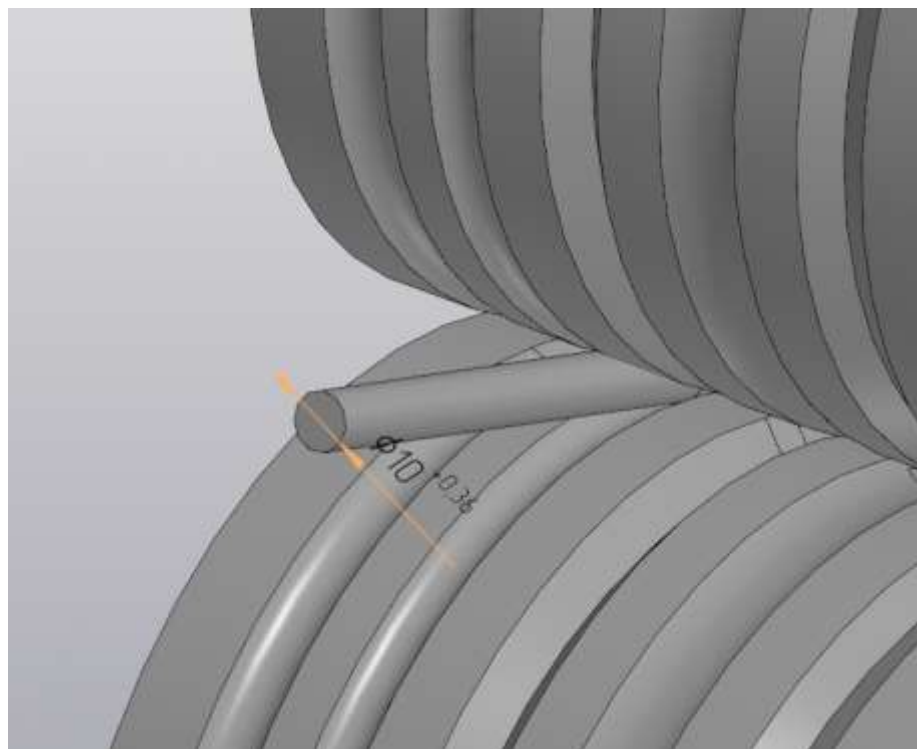


Рисунок 2.17. Контрольный замер

3. РАСЧЁТ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СУЩЕСТВУЮЩИМ ВАЛКАМ СТАНА ДУО-180

Исходные данные:

заготовка квадратного сечения со стороной 15 мм;

готовый профиль - круглое сечение диаметром 10 мм;

температура 20⁰С

стан - ДУО-180

диаметр бочки вала - 180

зазор S между валками равен 2 мм

Суммарная вытяжка вычисляется по формуле:

$$\Lambda_{\text{сум}} = F_0 / F_n, \quad (3.1)$$

где F_0 - площадь сечения заготовки, мм^2 ;

F_n - площадь конечного сечения, мм^2 .

$$\Lambda_{\text{сум}} = 225 / 78.5 = 2.866$$

Вычислим число проходов:

$$n = \frac{\ln F_0 - \ln F_n}{\ln \lambda_{\text{ср}}} \quad (3.2),$$

где $\lambda_{\text{ср}}$ - средняя вытяжка, равная 1.19.

$$n = \frac{\ln 225 - \ln 78.5}{\ln 1.19} = 6$$

Коэффициент трения принимаем равным $\mu = 0.95$ [1, таблица 3.4.]

Выбираем систему калибров: гладкая бочка - гладкая бочка - овал - круг - овал - круг, показанную на рисунке 3.1.

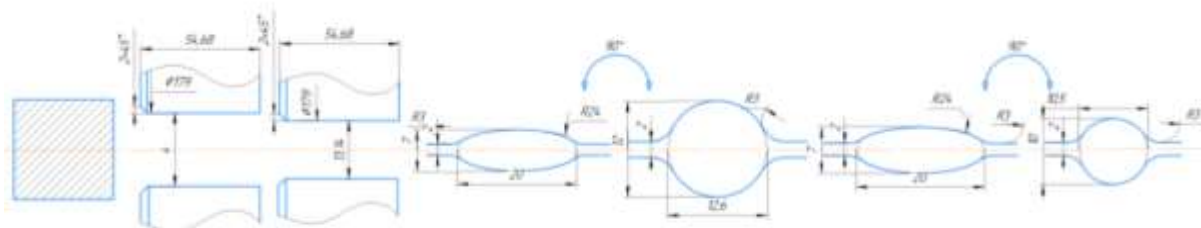


Рисунок 3.1. Система калибров

Делаем расчёты по проходам.

1 проход.

Зададим обжатие 4 мм

Высота полосы равна:

$$h_1 = h_0 - \beta \quad (3.3),$$

где h_0 - высота полосы на входе;

β - обжатие, мм.

$$h_1 = 15 - 4 = 11 \text{ мм}$$

Уширение считаем по формуле Бахтинова:

$$\Delta b = 5.0575 * \frac{h_0}{\beta} \left(\sqrt{R * \beta} - \frac{\beta}{2\mu} \right) * 0.9 \quad (3.4),$$

*0.9 - корректировочный коэффициент применительно к существующему стану

$$\Delta b = 2.32 \text{ мм}$$

Находим ширину полосы после проката:

$$b_1 = b_0 + \Delta b \quad (3.5)$$

$$b_1 = 15 + 2.32 = 17.32 \text{ мм}$$

Аналогично считаем остальные проходы. На рисунках 3.2. - 3.7. показано формоизменение заготовки по проходам.

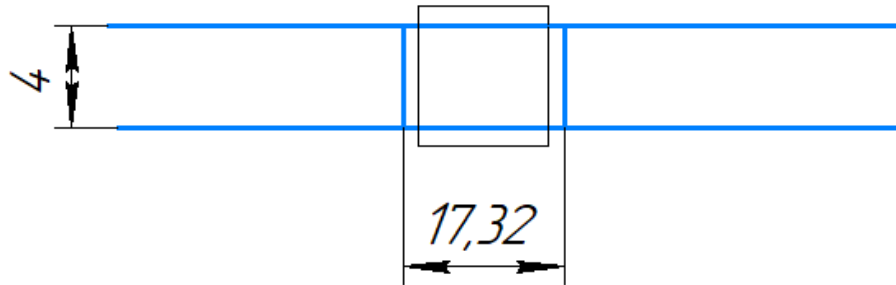


Рисунок 3.2. Первый проход

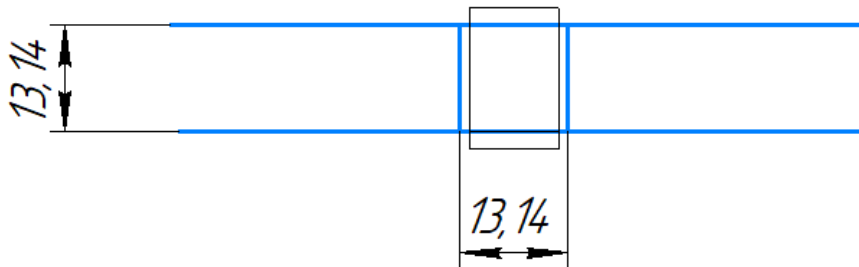


Рисунок 3.3. Второй проход

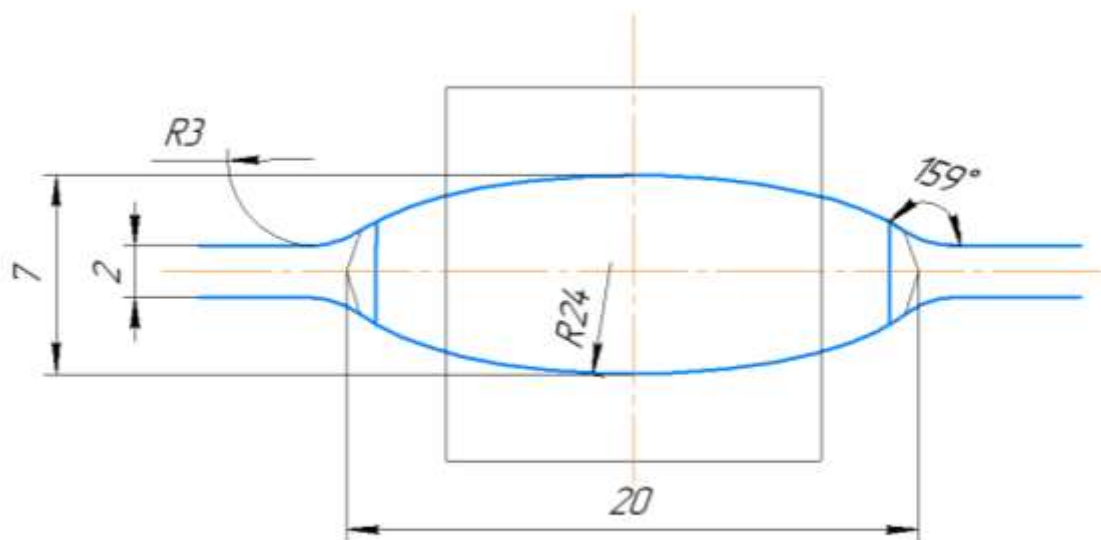


Рисунок 3.4. Третий проход

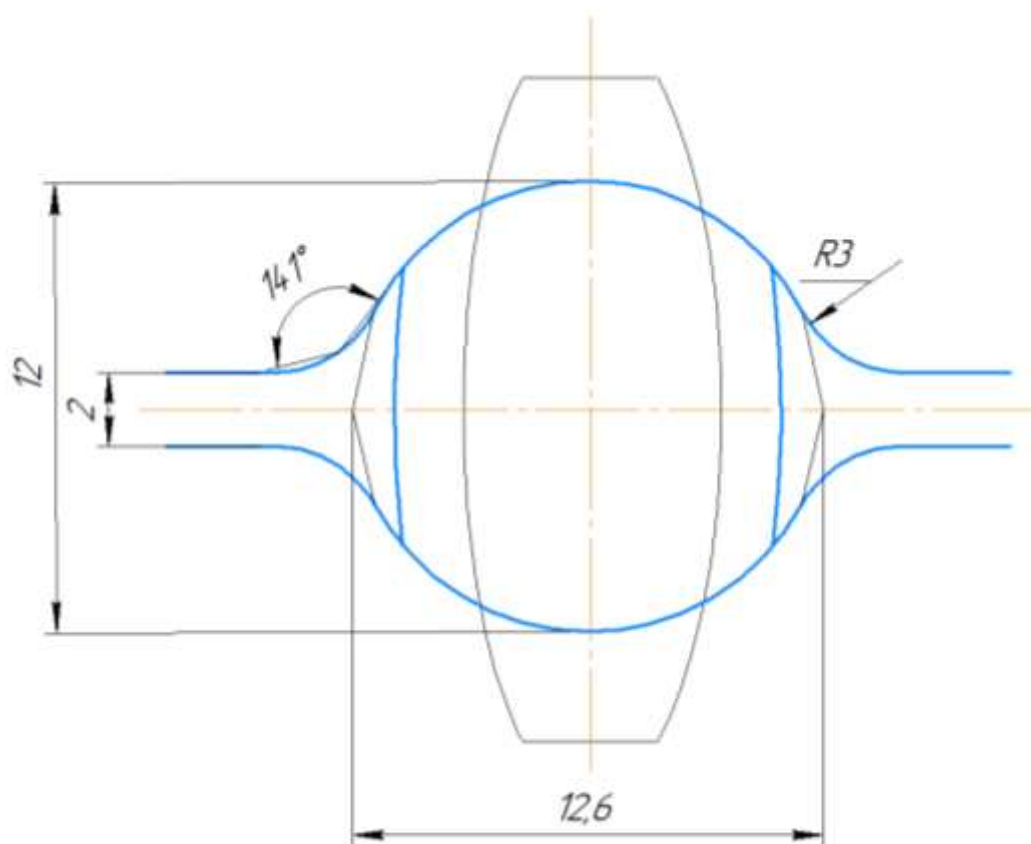


Рисунок 3.5. Четвёртый проход

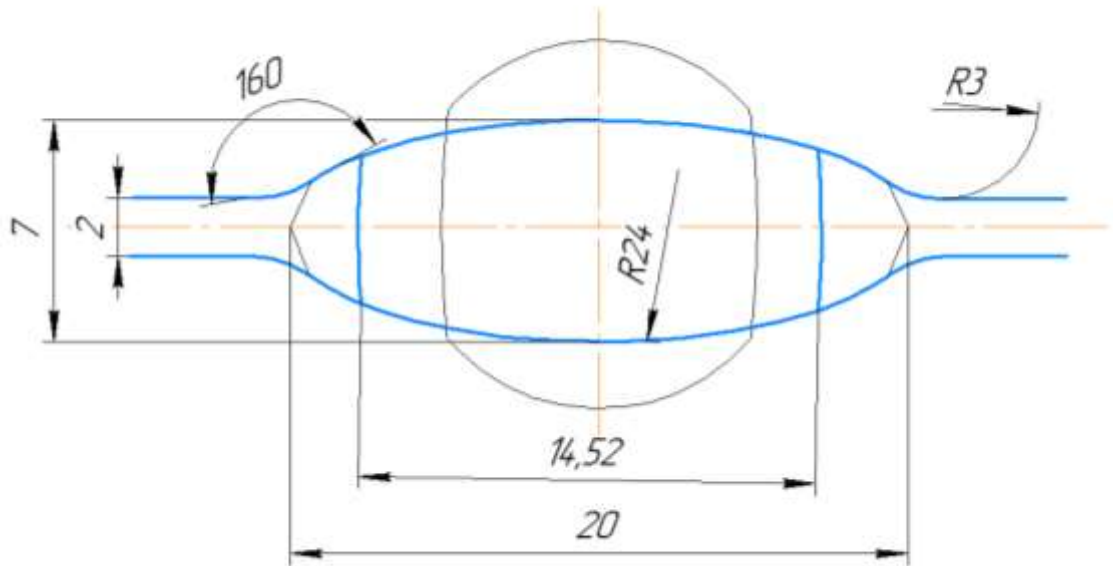


Рисунок 3.6. Пятый проход

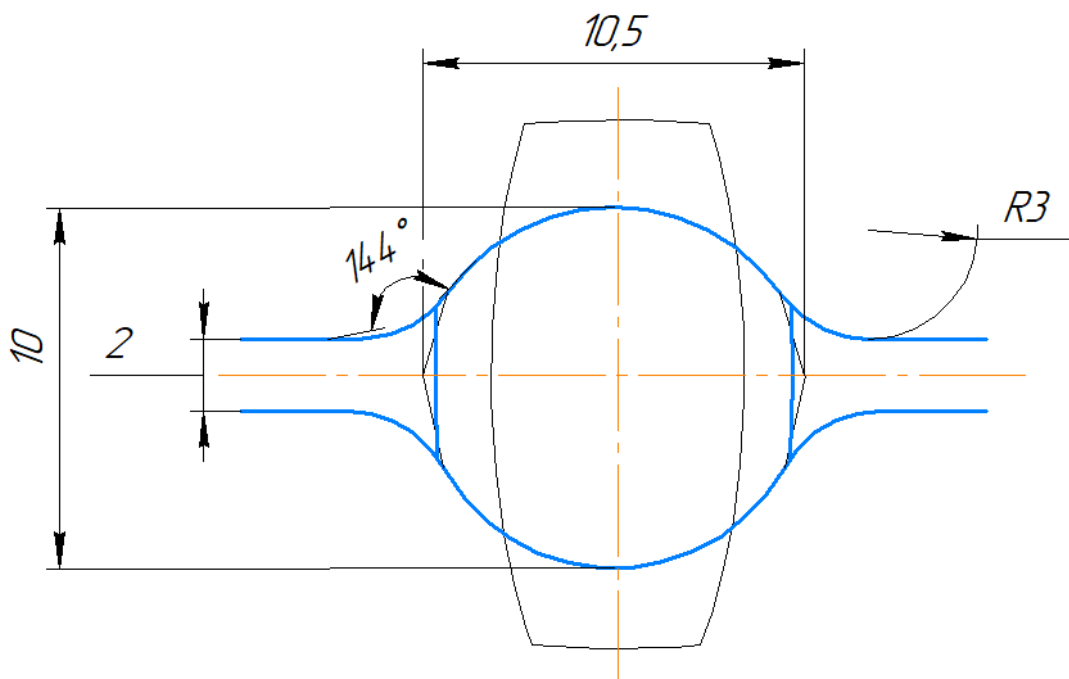


Рисунок 3.7. Шестой проход

Площадь контакта заготовки с валком при прокатке вычисляем по формулам:

для овала:

$$F_k = 0.54 * (b_0 + b_1) * (\sqrt{r * (h_0 - H_k)}) \quad (3.6),$$

где r - радиус закругления по дну калибра, равный 24;

H_k - высота калибра.

для круга:

$$F_k = 0.54 * (b_0 + b_1) * \sqrt{h_0 - H_k} \quad (3.7)$$

Результаты расчётов приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчётов формоизменения

Тип калибра	Гладкая бочка	Гладкая бочка	Овал	Круг	Овал	Круг	Готовый профиль
Высота заготовки	15,00	17,32	13,14	17,96	10,33	14,52	9,82
Ширина заготовки	15,00	11,00	13,14	7,00	12,00	7,03	10,00
Обжатие	4,00	4,18	6,14	5,96	3,3,	4,52	
Высота полосы	11,00	3,14	7,00	12,00	7,03	10,00	
Зазор S	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
Диаметр валка	179,00	179,00	175,00	170,00	174,97	172,00	
Уширение	2,32	2,14	4,82	3,33	2,52	2,79	
Ширина полосы	17,32	13,14	17,96	10,33	14,52	9,82	

Высота калибра Н _к	11,00	13,14	7,00	12,00	7,03	10,00	
Ширина калибра В _к	90,00	90,00	20,00	12,60	20,00	10,50	
Степень заполнения калибра n ₁			0,90	0,82	0,73	0,94	
Радиус закругления по дну калибра			24,00		24,00		
Отношение осей калибра А _к			1,00	0,39	1,16	0,48	
Вытяжка в проходах	1,18	1,10	1,75	1,02	1,21	1,02	
Площадь контакта			203,89	22,85	127,46	19,35	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ

Выполнив данную работу, получили следующие результаты.

1. Проведён литературный обзор существующих способов математического моделирования процессов ОМД; первого внедрения компьютерного моделирования процессов ОМД в промышленность; достоинства и недостатки применяемых методов и программ, а также перспективы дальнейшего развития в этом направлении;

2. Проведён анализ оборудования и технических характеристик стана ДУО-180;

3. Разработан технологический процесс получения сортового проката круглого сечения диаметром 10 мм для лабораторного стана ДУО-180;

4. Проведено математическое моделирование процесса проката для лабораторного стана ДУО-180 с расчётами формоизменения заготовки;

5. Разработаны чертежи общего вида прокатного стана, валков, калибров;

6. Сделана модель валков, заготовки и проката.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цымбал, В.П. Математическое моделирование металлургических процессов / В.П. Цымбал. - М.: Металлургия, 1986. - 240 с
2. Математическое моделирование как средство познания и анализа технических систем. - <http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/2013/APP/Modelirovanie%20i%20identifikatsiya%20ob%60ektov%20upravleniya/teory/lec1.htm>
3. Беляева, И.А. Математическое моделирование процессов ОМД: учеб. пособие/ И.А. Беляева. - Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. - 86с.
4. Настоящее и будущее моделирования процессов обработки металлов давлением. - <https://sapr.ru/article/18271>
5. Непрерывный прокатный стан ДУО-180: метод. указ. к выполн. лаб. работ. - Челябинск: Изд-во Южно-Уральского государственного университета, 2011. - 36с.
6. Процессы обработки металлов давлением: метод. указ. к выполн. лаб. работ. - Челябинск: Изд-во Южно-Уральского государственного университета, 2017. - 22с.