

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра «Обработка металлов давлением»
Направление подготовки 22.04.02 «Металлургия»

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент,

_____ Мамедов А.О
« ____ » _____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой
««Процессы и машины обработки ме-
таллов давлением»»,
к.т.н., доцент

_____ Радионова Л.В.
« ____ » _____ 2019 г.

**Разработка и исследование технологии и оборудования для раскатки бандажей
для подвижного состава трамваев**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ
«МАШИНЫ И АГРЕГАТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА»
ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ.ВКР

Руководитель работы
д.т.н., профессор
_____ Г.И. Коваль
« ____ » _____ 2019 г.
ст.пр.

_____ О.О. Сиверин
« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы,
студент группы П-245
_____ Н.С. Куколев
« ____ » _____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Куколев Н. С. Разработка и исследование технологии и оборудования для раскатки бандажей для подвижного состава трамваев” – Челябинск ЮУрГУ, П-245, 92 с., 41 ил., 31 табл., библиографический список – 21 наименований, 3 приложения, 2 листа чертежей формата А0, 2 листа чертежей формата А1х2, 6 листов чертежей формата А2, 2 плаката формата А1.

В данной выпускной квалификационной работе проведен обзор и анализ существующего участка кольцераскатного стана ООО “ЧТЗ-Уралтрак”, выявлены недостатки участка, произведен обзор комплексов по раскатке колец в России и за рубежом, а также произведен обзор конструкций кольцераскатных станков и сравнение технических характеристик кольцераскатных станков ведущих мировых производителей.

В рамках выпускной квалификационной работы были выдвинуты предложения по модернизации участка кольцераскатного стана на предприятии, произведен выбор оборудования. Была разработана технология производства бандажа трамвайного колеса, рассчитаны энергосиловые параметры, произведена конструкторская работа по рабочему инструменту кольцераскатного стана.

Была предложена и разработана конструкция кольцераскатного стана, произведен выбор параметров машины и привода, расчет силовых и кинематических параметров зубчатой передачи, определение консольных сил, расчет подшипников и проверочный расчет передачи.

Используя современное программное обеспечение было проведено исследование на прочность узла аксиального вала в программе SolidWorks, а также, исследование процесса раскатки бандажа с использованием системы конечно-элементного моделирования QForm.

Приведено описание разработанной машины, а так же описание разработанных схем автоматического регулирования для контроля размеров кольца во время раскатки, и для полной автоматизации стана включая загрузочные и разгрузочные устройства.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЗОР И АНАЛИЗ УЧАСТКА РАСКАТКИ ООО “ЧТЗ-УРАЛТРАК”	10
2 ОБЗОР КОМПЛЕКСОВ ПО РАСКАТКЕ КОЛЕЦ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ КОЛЬЦЕРАСКАТНЫХ СТАНОВ.....	14
2.1 Сравнение технических характеристик кольцераскатных станов ведущих мировых производителей.	14
2.2 Обзор конструкций кольцераскатных станов.	24
2.3 Обзор комплексов по раскатке колец в России и за рубежом.....	31
3 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ УЧАСТКА РАСКАТКИ КОЛЕЦ	36
3.1 Выбор оборудования.....	38
4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ	42
4.1 Конструктивно-технологический анализ детали	42
4.2 Конструирование поковки и штамповой оснастки.....	43
4.3 Разработка технологического процесса.....	44
4.4 Определение энергосиловых параметров при и штамповке и раскатке .	45
5 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕРАСКАТНОГО СТАНА.....	49
5.1 Выбор параметров машин и механизмов привода	50
5.2 Определение силовых и кинематических параметров зубчатой передачи	55
5.3 Определение консольных сил зубчатой передачи.....	57
5.4 Выбор материалов зубчатых передач и определение допускаемых напряжений	58
5.5 Определение допускаемых контактных напряжений	58
5.6 Определение допускаемых напряжений изгиба	59
5.7 Проверочный расчет передачи	60
5.8 Расчет подшипников.....	62
6 ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА АКСИАЛЬНОГО ВАЛКА	66

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

7 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ БАНДАЖА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ТРАМВАЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	70
8 ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАШИНЫ И АГРЕГАТОВ	77
9 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОЛЬЦЕРАСКАТКИ.....	79
9.1 Автоматизация контроля размеров кольца	79
9.2 Система автоматического регулирования кольцеракатного стана	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	88
ПРИЛОЖЕНИЕ А	90
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	91
ПРИЛОЖЕНИЕ В	92

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ВВЕДЕНИЕ

Множество различных заготовок, приближающихся по форме к размерам готовых изделий и обычно изготавливаемых штамповкой, ковкой, резанием, сваркой, можно получать бесшовной раскаткой на специальных машинах и станах. К таким заготовкам относятся и заготовки типа колец с разнообразным профилем поперечного сечения и широким диапазоном размеров по высоте и диаметру. Бесшовные кольца, благодаря их исключительным качественным свойствам и экономичному производству, находят все большее и большее применение в различных областях техники. Они применяются для: колец подшипников качения, зубчатых венцов, подшипников колес, коллекторных колец, колец и ввариваемых частей для двигателей, реакторных частей, тарельчатых колес, скользящих шестерен для редукторов автомобилей, фланцев всех видов, канатных шкивов, колесных бандажей, и других кольцеобразных прямых или профильных деталей.

Применение раскатки позволяет получать заготовки, максимально приближенные по форме к окончательно обработанным деталям (экономия металла до 60 %) с наиболее благоприятными структурой и ориентацией волокон по сравнению с другими способами изготовления кольцевых заготовок.

Различают открытый и закрытый способ раскатки.

Закрытый способ раскатки характеризуется вращением матрицы и внутреннего валка в одном направлении и удалением их осей, в результате чего происходит раскатка заготовки до наружного диаметра, равного внутреннему диаметру матрицы.

Открытый способ раскатки характеризуется вращением наружного и внутреннего валков в различных направлениях и сближением их осей, за счет чего происходит деформирование заготовки. Для придания заготовке устойчивости в процессе раскатки используют опорные ролики, оси которых перемещаются под воздействием раскатываемого кольца.

Открытая раскатка получила большее применение в промышленности, так как ее проще осуществить. Удаление же готовых изделий при закрытой раскатке более сложно.

Основные преимущества раскатки колец на машинах и станах:

- высокая производительность и малая трудоемкость;
- высокие механические свойства кольцевых заготовок, так как волокна ориентированы в окружном направлении;
- высокий коэффициент использования металла при последующей механической обработке;
- универсальность рабочего инструмента;
- возможность полной автоматизации процесса подачи кольцевой заготовки на стан, раскатки и удаления раскатанного кольца.

На предприятии ООО «ЧТЗ-Уралтрак» имеется участок кольцераскатки, состоящий из методической печи с гидравлическим толкателем заготовок, не приводного рольганга загрузки и выгрузки колец и кольцераскатного стана фирмы Wagner Dortmund модели RAW 50/40-1400/300. Особенностью этого

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

кольцеракатного стана является наличие узлов верхнего и нижнего аксиального вала, которые обжимают и регулируют высотный размер раскатываемого кольца, а так же передают вращающий момент.

В настоящее время стан находится в нерабочем состоянии, на участке списанных машин. Серийные тракторные детали, такие как венцы колес, кольца и корпуса, предприятие заказывает на сторонних заводах-изготовителях. Максимальный месячный объем выпускаемой продукции кольцеракатного стана составляет 160 т/мес. Объем месячной партии серийных раскатных деталей составляет порядка 110 т/мес., что обеспечивает 69% загрузку кольцеракатного стана.

На предприятие поступил заказ на производство заготовок "бандажей" для вагонов трамвая. Потребность составляет 400 шт./мес., что приблизительно равно 40 т./мес., то есть заказ обеспечивает 25% загрузку стана. Для производства заготовок бандажей и серийных деталей предприятию требуется разработать конструкцию кольцеракатного стана, модернизировать участок раскатки и автоматизировать процесс раскатки.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ОБЗОР И АНАЛИЗ УЧАСТКА РАСКАТКИ ООО “ЧТЗ-УРАЛ-ТРАК”

Кольцераскатный участок ЧТЗ состоит из кольцераскатной машины ДО-44 и кольцераскатного стана RAW 50/40-1400/300 фирмы Wagner, который в данный момент находится в нерабочем состоянии на участке списанных машин, комнаты управления машиной, камерной толкательной печи и средств механизации, таких как подвесные клещи и неприводного рольганга. На рисунках 1.1 и 1.2 показан кольцераскатный стан RAW 50/40-1400/300.



Рисунок 1.1 – Кольцераскатный стан RAW 50/40-1400/300

Проектный сортамент представляет собой раскатанные кольца с наружным диаметром от 400 до 1000 мм, внутренним диаметром от 200 до 900 мм и высотой кольца от 40 до 300 мм. Освоенные марки сталей раскатанных колец: 20, 20Х, 20ХН3А, 20ХН4МА, 20Х13, 35, 40, 40Х, 40ХН, 40Х13, 40ХН3А, 45, 45Х, 45ХН, 45Г2Ю, 50, 55.

Сортамент профиля сечения колец в настоящее время – прямоугольный. Кольца с профильным сечением на предприятии не освоены.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



Рисунок 1.2- Кольцераскатный стан RAW 50/40-1400/300

Схема расположения оборудования на кольцераскатного участка представлена на рисунке 1.3:

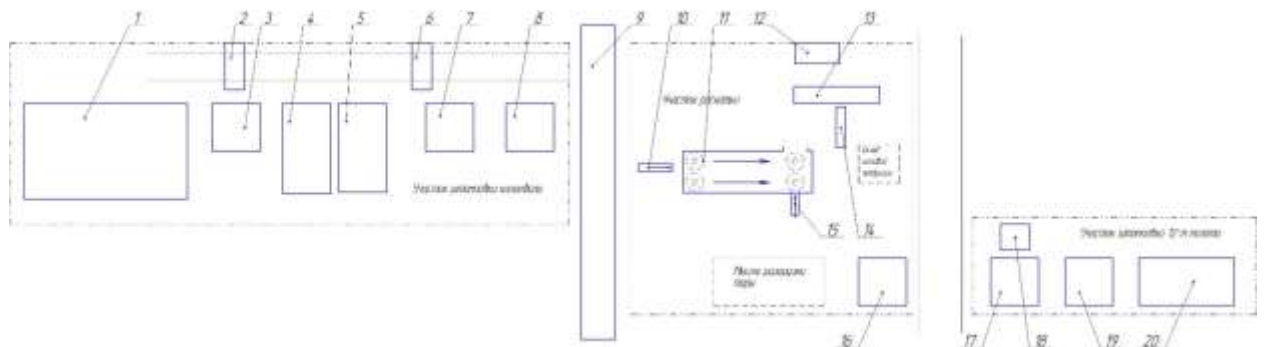


Рисунок 1.3 – Схема расположения оборудования на кольцераскатном участке.

Если потребность колец менее 100 штук в месяц, то ковка заготовок под раскатку происходит в кузнечном цехе на ковочном оборудовании – молот м.п.ч 3 т, где максимальная масса заготовки = 100 кг, или на гидравлическом ковочном прессе усилием 1000 тс с массой заготовки от 100 кг до 1000 кг.

Если потребность колец более 100 штук в месяц, и целесообразно изготавливать молотовые штампы, и масса заготовок составляет от 35 кг до 100 кг, тогда применяется штамповочный молот м.п.ч. 12 тонн 19, который стоит у кольцераскатного участка. После штамповки заготовки под раскатку поковка с облоем подается на обрезной пресс 17 усилием 1060 тс. На прессе 17 производится совмещенная обрезка облоя и прошивка отверстия. Затем поковку стелкивают в яму 18, находящуюся за рабочей областью пресса, в специальную

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

тару. После накопления в таре поковок порядка одной трети от полезного объема тары её транспортируют на кольцераскатный участок мостовым краном 9, где производится раскатка колец на стане 13. Как правило верхние поковки, температура которых находится в ковочном интервале, сразу раскатываются на стане, остальные поковки подогревают в печи 11. Вдоль направления печи заготовки толкаются гидроцилиндром 10, выталкиваются из печи гидроцилиндром 15, затем подвесными клещами, или мостовым краном подаются в рабочую область стана 13, управление которым осуществляется в пультовой 12. После окончания процесса раскатки, кольцо по рольгангу передается на площадку складирования готовой продукции.

В настоящее время заготовку под раскатку, диаметром более 450 мм нагревают на участке штамповке коленчатого вала. Участок состоит из нагревательной газовой печи 1, двух манипуляторов 2 и 6, штамповочного молота 3 м.п.ч. 6,5 т, двух камерных газовых печей 4 и 5, штамповочного молота 7 м.п.ч. 13 т и обрезного прессы 8 усилием 1500 тс. Заготовку, мостовым краном 9 транспортируют к нагревательной печи 4 или 5, с помощью манипулятора 2 или 6, загружают в камерные печи 4 или 5 и нагревают до ковочной температуры. Затем с помощью манипулятора 2 или 6 и мостового крана 9 транспортируют непосредственно на стан 13 для раскатки.

На рисунке 1.4 фотография склада раскатанных колец кольцераскатного участка.



Рисунок 1.4 – Складирование раскатанных колец

Для отгрузки готовой продукции, кольца поштучно, либо попарно транспортируют в тару, находящуюся за кольцераскатным участком, с помощью мостового цехового крана.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

В данный момент стан находится в нерабочем состоянии на участке спиланных машин.

Проблемы кольцераскатного участка заключаются в следующем:

1. Отсутствие самостоятельного производственного процесса. При наружном диаметре заготовок под раскатку более 450 мм, заготовки приходится нагревать на соседнем участке. Для транспортирования в нагревательную печь соседнего участка и транспортировки на кольцераскатный стан применяется цеховой мостовой кран. Вследствие этого случается простой рабочего процесса всего кузнечного цеха.

2. Отсутствие механизации труда. Для выгрузки нагретых заготовок под раскатку из печи на стол выдачи рабочие пользуются специальными багарами. Затем, сообщая, клещами подают заготовку на неприводной рольганг, и транспортируют заготовку в рабочую зону стана. Так как масса заготовки под раскатку достигает в некоторых случаях порядка 200 кг, рабочим невозможно без механизации подать заготовку в рабочую зону стана. Приходится пользоваться цеховым мостовым краном.

3. Проблемы конструкции стана. Конструкцией стана предусмотрено, что верхний и нижний аксиальные валки являются приводными. В действительности, нижний аксиальный валок работает вхолостую т.к. привод вышел из строя. Вся нагрузка при обжатию во время раскатки распределяется на верхний аксиальный валок, в следствии чего происходит выход из строя шестеренного редуктора и подшипников.

4. Износ основных узлов стана. Стан не соответствует паспортным данным.

5. Отсутствие ЧТД стана. Большинство запасных частей стана сделаны наугад, нарушаются поля допусков деталей и сопряжений. В следствии чего увеличивается износ деталей.

6. Используемая схема автоматического регулирования размеров раскатываемого кольца не удовлетворяет современным требованиям качества колец.

7. Отсутствие полной автоматизации процесса раскатки колец.

Основываясь на вышеперечисленной информации можно сделать вывод о том, что необходимо спроектировать новый кольцераскатный стан, реконструировать участок раскатки колец, провести автоматизацию процесса раскатки колец.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

2 ОБЗОР КОМПЛЕКСОВ ПО РАСКАТКЕ КОЛЕЦ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ КОЛЬЦЕРАСКАТНЫХ СТАНОВ.

На мировом рынке раскатанные кольца с каждым годом пользуются всё большим вниманием и потребностью. Ведущие мировые производители кольцераскатных станов выпускают станы различных конструкций и типов, которые зависят от их применения, качества выпускаемой продукции, и возможностью полной автоматизации процесса. Так же существуют специальные кольцераскатные комплексы, которые включают в себя полный производственный цикл, начиная от порезки заготовок, заканчивая термообработкой и складированием готовой продукции [1].

2.1 Сравнение технических характеристик кольцераскатных станов ведущих мировых производителей.

Компания SMS Meer GmbH (Германия) предлагает кольцераскатные станы для колец диаметром от 160 до 8000 мм и весом от 40 до 20000 кг. В таблице 2.1 приведены параметры типоразмерного ряда кольцераскатных станов типа RAW компании SMS Meer [2].

Таблица 2.1 – Параметры типоразмерного ряда кольцераскатных станов типа RAW и RAW-EM компании SMS Meer

Типоразмер кольцераскатного стана	Параметры готового кольца				Параметры кольцераскатного стана			
	Наружный диаметр, мм	Максимальный наружный диаметр, мм	Высота, мм	Максимальная масса, кг	Усилие, кН		Мощность привода, кВт	
					Радиальное	Осевое	Радиальных валков	Осевых валков
Кольцераскатные станы типа RAW								
20/16-800/160	160-800	1000	20-160	40	200	160	50	2x38
25/20-800/160	200-800	1000	20-160	63	250	200	75	2x38
32/25-1000/180	200-1000	1250	20-180	125	315	250	75	2x55
40/32-1250/210	200-1250	1500	20-210	250	400	315	100	2x55
50/40-1400/250	250-1400	1750	30-250	400	500	400	125	2x68
63/50-1600/315	250-1600	2000	30-315	630	630	500	160	2x75

Окончание таблицы 2.1

80/63- 2000/400	300- 2000	2500	30-400	1000	800	630	200	2x110
100/80- 2500/480	300- 2500	3000	30-480	1600	1000	800	250	2x140
125/100- 3000/560	400- 3000	3600	30-560	2500	1250	1000	315	2x160
160/125- 4000/630	400- 4000	4600	30-630	4000	1600	1250	400	2x200
200/160- 5000/710	500- 5000	5600	40-710	6300	2000	1600	500	2x250
250/200- 6000/800	500- 6000	6600	40-800	8000	2500	2000	630	2x315
315/250- 7000/900	630- 7000	7800	40-900	10000	3150	2500	800	2x400
400/315- 8000/1000	800- 8000	9000	40- 1000	12500	4000	3150	1000	2x500
500/400- 8030/1250	800- 8000	9000	40- 1250	16000	5000	4000	1260	2x630
630/500- 8000/1600	800- 8000	9000	40- 1600	20000	6300	5000	1460	2x730

Кольцераскатные станы типа RAW-EM с электромеханическим приводом

40/32	160- 1000		20-210		400	320	1110	2x55
63/50	180- 1400		30-330		630	500	1160	2x90
80/63	200- 1750		30-400		800	630	1250	2x110
125/100	320- 2500		40-500		1250	1000	1300	2x150
250/200	400- 4000		40-700		2500	2000	1630	2x315

В настоящее время крупнейшими в мире являются радиально-осевые кольцераскатные станы компании SMS Meer модели RAW 800 (1000) / 500 (630) – 10000 / 2500 для раскатки профильных колец и фланцев и модели RAW 2500 / 1000-700 / 3500 для раскатки непрофильных колец особо больших размеров, технические характеристики которых приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические параметры кольцераскатных станков особо больших параметров компании SMS Meer

Параметры	Модель стана	
	RAW 800 (1000) / 500 (630) – 10000 / 2500	RAW 2500 / 1000- 700 / 3500
Наружный диаметр колец, мм	600-10000	до 7000

Окончание таблицы 2.2

Высота колец, мм	60-2500	до 3500
Масса кольца, т	-	до 105
Радиальное усилие прокатки, кН	8000	25000
Осевое усилие прокатки, кН	5000	10000
Скорость прокатки, м/с	0,3-1,2	-
Мощность привода радиальных роликов, кВт	2x1000	2x1500
Мощность привода осевых роликов, кВт	2x800	2x1500

В таблице 2.3 приведены примеры работающих кольцераскатных станков типа RAW компании SMS Meer.

Таблица 2.3 – Примеры работающих кольцераскатных станков типа RAW компании SMS Meer

Фирма, страна и год начала использования	Модель стана	Параметры кольца	
		Диаметр, мм	Высота, мм
Hindustan Aeronautics Ltd, Индия	RAW 100/63-3000/400	3000	400
Drill Quip Inc, США	RAW 125/100-4000/600	4000	600
Lunion des Forgerons, Франция	RAW 125/100-1400/480	1400	480
Cockerill Forges, Бельгия	RAW 160/160-4000/630	4000	630
Pressform, США	RAW 160 (200) /160-3600/830	3600	830
Dirostahl, Германия	RAW 200/200-2000/800	2000	800
ASFO Acciai, Италия	RAW 315/200-4500/1200	4500	1200
Hoesch Rothe Erde, Германия	RAW 315/310-8000/1000	8000	1000
Firth Rixson, США	RAW 400/200-3600/900	3600	900
Forgiatura, Италия	RAW 400/250-6000/1400	6000	1400
Bruck GmbH, Германия	RAW 315 (500) /250 (300) - 4000/1700	4000	1700
FORGITAL, Италия	RAW 630/500-7000/1700	7000	1700

Продолжение таблицы 2.3

DEMBIERMONT, Франция	RAW 800/500-8000/1800	8000	1800
UNISON, Южная Корея, 2006	RAW 160 (200) /125 (160) -4000/630	3000	630
FRISA, Мексика, 2007	RAW 315 (400) /200 (250) - 4000/1000	4000	1000
FRISA, Мексика, 2008	RAW 500 (630) /400 (500) - 8000/1700	8000	1700
Овасо Tube Ring AB, Швеция, 2007	RAW 80 (100)/63 (80)-1200/350	1200	350
Forgiatura Morandini, Италия	RAW 2500 / 1000-7000 / 3500	7000	3500
BOHAI STEEL GROUP, Китай	RAW 800 (1000) /500 (630) -10 000/2500	10000	2500
DVL, Италия	RAW 800 (1000) /500 (630) - 7000/2500	7000	2500
Xuzhou Rothe Erde, Китай	RAW 400 (500) /400 (500) - 7000/1200	7000	1200
Forgiatura, Италия	RAW 200 (250) /160- (200) - 3500/1000	3500	1000
Rothe Erde GmbH, Германия	RAW 200 (250) /200 (250) -5500/630	5500	630
Melesi, Италия, 2007	RAW 200 (250) /160 (200) - 3500/1000	3500	1000
ASF0, Италия, 2007	RAW 400 (500) /400 (500) - 6000/1200	6000	1200
Schaeffer KG, Румыния, 2007	RAW 160 (200) /125 (160) -3000/630	3000	630
ROTEK, США, 2007	RAW 400 (500) /400 (500) - 6000/1200	6000	1200
Уральская кузница, Россия, 2009	RAW 200 (250) /160 (200) - 3500/1000	3500	1000

Окончание таблицы 2.3

РУСПОЛИМЕТ, Россия, 2010	RAW 400 (500) /400 (500) - 6000/1200	6000	1200
TRIANGOLO, Чехия, 2009	RAW 100 (125) /100 (125) -2000/400	2000	400

Так же компания предлагает принципиально новые кольцераскатные станы типа MERW, ERAW и RKP.

Кольцевые эспандеры – станы типа RKP для правки колец после раскатки, технические характеристики представлены в таблице 2.4 [3].

Таблица 2.4 – Технические характеристики эспандеров компании SMS Meer.

Параметры	Модель эспандера	
	RKP 500- 1500/300	RKP 1350- 3500/900
Наружный диаметр кольца, мм	300-1500	1000-3500
Высота кольца максимальная, мм	300	900
Вертикальное усилие на разжимной оправке, кН	5000	34000
Площадь поперечного сечения кольца на одной стороне разреза, максимальная, мм ²	10000	13500
Диаметральный ход, мм	120	160

Для колец диаметром от 100 до 500 мм существует многопозиционный радиально-осевой кольцераскатный стан типа MERW, предназначенный для работы в автоматизированном кольцераскатном комплексе. На стане типа MERW можно раскатывать кольца с прямоугольным и профилированным профилем, максимальное усилие прокатки составляет 160 кН. В таблице 2.5 приведены параметры работающих кольцераскатных станом типа MERW, поставленных компанией SMS Meer [3].

Таблица 2.5 – Параметры кольцераскатных станом типа MERW фирмы SMS Meer.

Фирма и страна использования	Модель стана	Параметры кольца	
		Диаметр, мм	Высота, мм
Ford Motor, Германия	MERW 16-280/80	280	80
OVAKO, Франция	MERW 32-500/200	500	200

В таблице 2.6 приведены технические характеристики кольцераскатных станом модели компании SMS Meer. В таблице 2.7 приведены параметры работающих кольцераскатных станом типа ERAW, поставленных компанией SMS Meer [3].

Таблица 2.6 – Технические характеристики кольцераскатных станов типа ERAW

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов ERAW				
	50/40-1600/250	63/50 - 2000/315	80/63 - 2500/400	100/80 - 3000/480	125/100 - 3600/560
Наружный диаметр кольца, мм	200-1600	250-2000	300-2500	350-3000	400-3600
Высота кольца, мм	25-250	25-315	30-400	30-480	30-560
Радиальное усилие, кН	500	630	800	1000	1250
Осевое усилие, кН	400	500	630	800	1000
Мощность привода радиальных валков, кВт	100	110	140	160	200
Мощность привода осевых валков, кВт	2x63	2x75	2x90	2x110	2x140

Таблица 2.7 - Параметры работающих кольцераскатных станов типа ERAW компании SMS Meer

Фирма и страна использования	Модель стана	Параметры кольца	
		Диаметр, мм	Высота, мм
Rolex, Индия	ERAW 40/32-800/250	20-800	20-550
Galperti inc, США	ERAW 80 (100) /63 (80) - 1600/350	30-350	300-1600

Компания предлагает станы типа AGW для осевой раскатки деталей в штампе. В таблице 2.8 представлены технические параметры станов типа AGW [3].

Таблица 2.8 - Технические характеристики станов типа AGW

Модель стана типа AGW	Параметры кольца, мм		Параметры стана	
	Наружный диаметр	Высота	Усилие прокатки, кН	Мощность привода, кВт
63-200/60	200	60	630	75
125-280/80	280	80	1250	150
250-450/160	450	160	2500	330
400-560/200	560	200	4000	500
630-710/250	710	250	6300	750
800-900/320	900	320	8000	950
1200-1100/400	1100	400	12000	1450

Компания Mitsubishi Nagasaki Machinery (Япония) поставляет типоразмерный ряд кольцераскатных станов серии MRX для колец диаметром от 300 до 5000 мм. Предлагаются кольцераскатные станы серии MRM для колец диаметра от 75 до 300 мм со сложным контуром, отличающиеся высокой экономичностью. Выпускаются кольцераскатные машины серии NSRF для колец диаметра от 100 до 230 мм, работающие по схеме радиальной раскатки. В таблице 2.9 показаны технические характеристики кольцераскатных станов серии MRX компании Mitsubishi Nagasaki Machinery [4].

Таблица 2.9 – Кольцераскатные станы серии MRX компании Mitsubishi Nagasaki Machinery

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов							
	MRX 300	MRX 400	MRX 600	MRX 1200	MRX 1500	MRX 2000	MRX 3000	MRX 4000
Наружный диаметр кольца, мм	85-300	130-460	180-600	400-1200	400-1500	400-2000	600-3000	800-4000
Высота кольца, мм	20-110	40-160	50-240	50-350	50-400	50-550	50-600	60-700
Масса кольца, кг	10	30	80	300	500	1500	2500	4000
Радиальное усилие, тс	20	50	60	75	80	100	120	200
Осевое усилие, тс	15	35	40	75	80	100	120	200
Мощность привода радиальных валков, кВт	37	75	90	150	160	250	300	500
Мощность привода осевых валков, кВт	15	37	37x2	45x2	55x2	45x3	75x2	75x3

Кольцераскатные станы предлагает компания Zhucheng Shengyang Machinery (Китай), на которых можно изготавливать кольца с диаметрами от 350 до 8000 мм. Компания предлагает ряд кольцераскатных станов радиальной и радиально-осевой прокатки:

- радиальные станы типа D51A, D51B, D52;
- радиально-осевые станы типа D53K.

В таблицах 2.10 и 2.11 приведены основные технические параметры станков типа D52 и D53K [5].

Таблица 2.10 – Технические параметры кольцераскатных станов типа D52 компании Zhucheng Shengyang Machinery

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов типа D52					
	630	800	1250	1600	2000	3000
Наружный диаметр кольца, мм	220-630	300-800	400-1250	400-1600	450-2000	500-3000
Высота кольца, мм	160	200	250	300	350	400
Радиальное усилие, кН	500	630	800	1000	1250	2000
Мощность привода, кВт	110	132	200	280	355	500

Таблица 2.11 – Технические параметры кольцераскатных станов типа D53K компании Zhucheng Shengyang Machinery

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов типа D53K							
	D53K-1000	D53K-1200	D53K-1600	D53K-2000	D53K-2500	D53K-3500	D53K-4000	D53K-5000
Наружный диаметр готового кольца, мм	300-800	400-1200	400-1600	400-2000	500-2500	500-3500	600-4000	600-5000
Высота кольца, мм	60-250	60-300	60-300	60-350	80-400	80-500	80-600	80-700
Радиальное усилие, кН	800	1000	1250	1600	2000	2000	2500	3000
Осевое усилие, кН	630	800	1000	1250	1600	1600	2000	2500
Скорость прокатки, м/с	1,3							
Мощность привода радиальных валков, кВт	160	250	280	2х220	2х250	2х280	2х315	2х355
Мощность привода осевых валков, кВт	2х75	2х90	2х160	2х220	2х250	2х280	2х315	2х355

Компания Kaltek (Южная Корея) предлагает различные типы кольцераскатных станов, на которых можно изготавливать кольца с диаметрами до 7000 мм и массой до 12000 кг. В таблице 2.12 приведены технические параметры радиально-осевых кольцераскатных станов компании Kaltek [6].

Таблица 2.12 - Технические параметры радиально-осевых кольцераскатных станов компании Kaltek

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов					
	KAL-1800	KAL-3000	KAL-4000	KAL-5500	KAL-6300	KAL-7000
Максимальный диаметр кольца, мм	1800	3000	4000	5500	6300	7000

Окончание таблицы 2.12

Минимальный диаметр кольца, мм	400	600	600	600	1000	1200
Высота кольца, мм	500	700	700	1000	1000	1200
Масса кольца, кг	500	5000	12000	12000	12000	15000

Компания Anyang General Machinery Group (Китай) предлагает вертикальный кольцераскатные станы типа D51, осевые кольцераскатные станы типа D52 и радиально-осевые кольцераскатные станы типа D53, на которых можно изготавливать кольца диаметрами до 6300 мм. В таблицах 2.13 и 2.14 представлены технические параметры радиальных и радиально-осевых кольцераскатных станков типа D52 и D53 [5].

Таблица 2.13 – Технические параметры кольцераскатных станков типа D52 компании Anyang General Machinery

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станков типа D52				
	630	1250	1600	2000	3000
Наружный диаметр кольца, мм	220-630	400-1250	400-1600	450-2000	500-3000
Высота кольца, мм	160	250	300	350	400
Радиальное усилие, кН	500	800	1000	1250	2000
Мощность привода, кВт	110	200	280	355	500

Таблица 2.14 – Технические параметры кольцераскатных станков типа D53 компании Anyang General Machinery.

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станков типа D53						
	800	1600	2000	2500	3000/3500	4000	4000/5000
Наружный диаметр кольца, мм	350-800	400-1600	500-2000	500-2500	600-3500	600-4000	700-5000
Высота кольца, мм	60-300	70-300	80-400	80-500	80-500	80-650	100-700
Радиальное усилие, кН	1250	1250	2000	2000	2000	2500	3000
Осевое усилие, кН	1000	1000	1250	1250	1600	2000	2500
Мощность привода радиальных валков, кВт	280	280	2x250	2x250	2x280	2x400	2x450
Мощность привода осевых валков, кВт	2x160	2x160	2x220	2x220	2x280	2x355	2x355

Компания Qingdao Qiyuan Forging Machine (Китай) предлагает вертикальные кольцераскатные станы типа D51, осевые кольцераскатные станы типа

D52 для колец с диаметром до 3000 мм и радиально-осевые станы типа D53K для колец с диаметром до 5000 мм. В таблице 2.15 представлены технические параметры радиальных кольцераскатных станов типа D52. В таблице 2.16 представлены технические параметры радиально-осевых кольцераскатных станов типа D53K.

Таблица 2.15 – Технические параметры кольцераскатных станов типа D52 компании Qingdao Qiyuan Forging Machine

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов типа D52					
	630	1000	1250	1600	2000	3000
Наружный диаметр кольца, мм	220-720	350-1000	400-1600	400-1600	450-2000	500-3000
Высота кольца, мм	160	250	250	300	350	400
Радиальное усилие, кН	500	800	800	1000	1250	2000
Мощность привода, кВт	110	200	200	280	355	500

Таблица 2.16 – Технические параметры кольцераскатных станов типа D53 компании Qingdao Qiyuan Forging Machine

Параметры кольцераскатного стана	Модели кольцераскатных станов типа D53						
	800	1600	2000	2500	3000	4000	5000
Наружный диаметр кольца, мм	350-800	400-1600	500-2000	500-3000	500-3500	500-4000	500-5000
Высота кольца, мм	60-300	60-300	80-500	80-500	80-500	80-700	80-750
Радиальное усилие, кН	1250	1250	2000	2000	2000	2000	2500
Осевое усилие, кН	1000	1000	1250	1250	1600	1600	2000
Мощность привода радиальных валков, кВт	280	280	500	500	560	630	630
Мощность привода осевых валков, кВт	2x160	2x160	2x220	2x220	2x280	2x315	2x315

Сравнив основные параметры кольцераскатных станов различных производителей, можно сделать вывод, что наиболее широкой применяемостью и разнообразием номенклатуры раскатанных колец, а также широкой номенклатурой и различными типами, конструкциями кольцераскатных станов ведущую роль в кольцераскатке занимает компания SMS Meer GmbH.

2.2 Обзор конструкций кольцераскатных станов.

Рассмотрим различные конструкции кольцераскатных станов на примере SMS Meer.

Группа SMS MEER выпускает различные виды конструкций станов, например радиальные, радиально-осевые, электромеханические, колесопрокатные станы, кольцевые экспандеры, машины для раскатки в штампе.

Ведущее место в производстве радиальных и радиально-осевых кольцераскатных станов занимает группа компаний SMS Meer. На радиальных и радиально-осевых кольцераскатных машинах типа RW и RAW можно производить большой ассортимент раскатанных колец, например: непрофилированные и профилированные кольца, фланцы, бандажи для колес рельсового транспорта, втулки подшипников, колеса для редукторов, канатные шкивы, отводные ролики и т.д. [1].

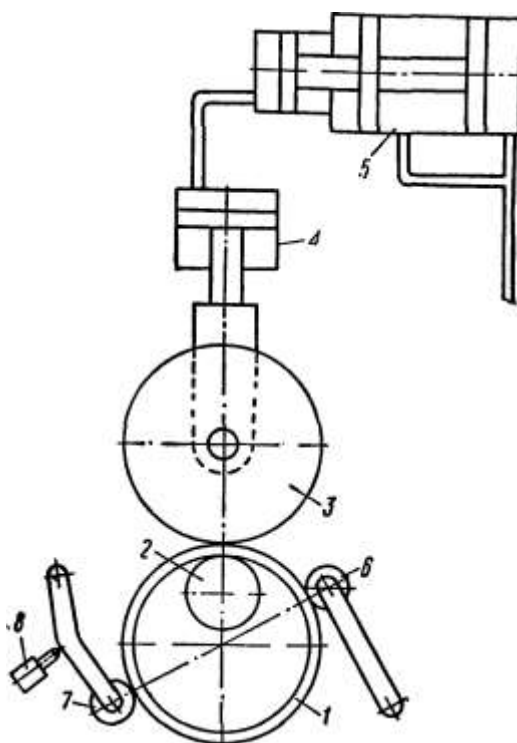


Рисунок 2.1 – Кинематическая схема вертикального радиально-раскатного стана

На рисунке 2.1 представлена кинематическая схема вертикального радиально-раскатного стана. Кольцо 1 раскатывается между опорным валком 2 и нажимным валком 3, выполненными консольно. Нажимной валок вращается от электродвигателя и перемещается в радиальном направлении под воздействием гидроцилиндра 4, давление в котором создается пневмоцилиндром 5, работающим от заводской пневмосети. Устойчивость заготовки в процессе раскатки обеспечивают подвижные ролики — упорный 6 и контрольный 7. При достижении кольцом требуемого наружного диаметра исполнительное устройство 8 отключает привод нажимного механизма.

Такие раскатные станы надежны и просты в эксплуатации, однако постоянная частота вращения приводного вала и малая величина хода штока силового цилиндра ограничивают их технологические возможности. Так же станы

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

этого типа не располагают возможностью контролировать высоту кольца в процессе раскатки в отличие от радиально-осевых кольцераскатных станов.

На рисунке 2.2 показана кинематическая схема радиально-осевого кольцераскатного стана.

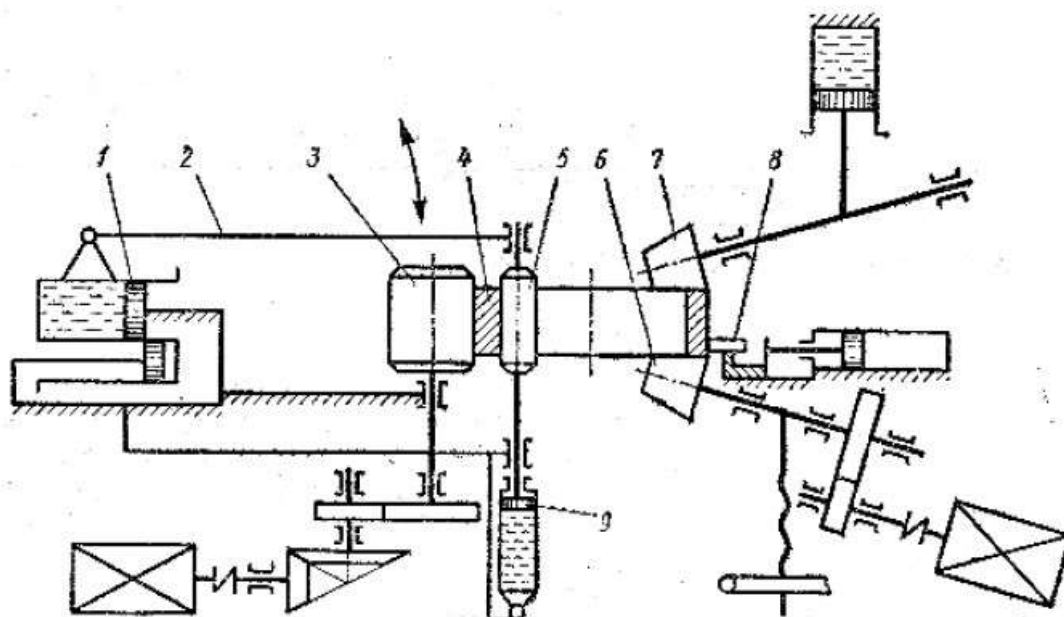


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема к радиально-осевого кольцераскатного стана

Кольцо 4 раскатывается между внешним приводным валком 3 и внутренним холостым валком 5. Вращение на валок 3 передается от электродвигателя, через муфту, коническую передачу и редуктор. Для продевания холостого валка 5 в отверстие заготовки 4 используется гидропривод осевого перемещения валка в вертикальной плоскости. Для увеличения наружного диаметра заготовки в процессе раскатки валок 5 перемещается по горизонтальному направлению к валку 3 посредством гидравлического привода 1 и накидной опоры 2. Для контроля заготовки по высоте и передаче заготовке крутящего момента используются верхний осевой валок 7 и нижний приводной осевой валок 6. Так же в конструкции предусмотрен прибор для измерения и выключения 8. Компания SMS Meer выпускает радиально-осевые кольцераскатные станы и верхним приводным осевым валком, нижним приводным осевым валком и двумя приводными осевыми валками.

Особенностью конструкций кольцераскатных станов SMS Meer является универсальность и унифицированность основных узлов станов, таких как гидроцилиндры, редукторы, зубчатые передачи, электродвигатели и муфты. Для каждого типоразмера кольцераскатного стана используются определенный привод, изготовленный компанией SMS Meer, который может быть использован и в других различных станах.

Компания широко использует принцип агрегатирования. Принцип агрегатирования заключается в том, что система выполняется как агрегат, состоящий из функционально независимых и конструктивно законченных модулей, а так же позволяет успешно решать задачу модернизации устаревшего оборудо-

вания путем производства новых агрегатов, обеспечивающих высшую производительность, и замены новыми агрегатами устаревших на установленном действующем заводском оборудовании.

Основные особенности конструкции радиальных и радиально-осевых кольцераскатных SMS Meer [1]:

- Двухопорность наружного и внутреннего валков – достигается особенностями конструкции станины и обеспечивает высокую жесткость инструмента и его малогабаритность;
- Система регулировки наружного и внутреннего валков, а также раскатного стола по высоте – обеспечивается гидроцилиндрами;
- Цилиндрические направляющие радиальной каретки и роликовая направляющая осевой клетки сконструированы таким образом, что полностью исключает прерывистость скольжения;
- Использование электро-гидравлических контуров регулирования позиций инструмента, широкое использование сервогидравлики позволяет достигать высокой точности операций;
- Использование бесконтактных цифровых измерительных приборов (наружный, внутренний диаметры, высота, подача, усилие валков, температура металла и инструмента) с индикацией фактических значений совместно с программным обеспечением для автоматизации процесса раскатки позволяет получить высокую точность работы оператору, высокую точность геометрических и механических параметров раскатанной детали;
- На кольцераскатных станах присутствует устройство для регулирования и центрирования заготовки под раскатку, что существенно упрощает процесс раскатки;
- Система диагностики и тестирования совместно с программным обеспечением позволяет узнать в каком узле или агрегате произошел сбой или поломка, существенно упростить техобслуживание персоналу и сократить время на его исполнение.

Наличие на всех станах программируемого логического контроллера (ПЛК), что позволяет добиться автоматического выполнения всех манипуляций стана.

Электромеханические кольцепрокатные станы типа RAW-EM компании SMS Meer обладают компактной конструкцией и низкими затратами. Особенностью является то, что SMS Meer оснастила эти станы электромеханическими приводами для приводных валков и их приведение в движение, то есть можно отказаться от силовой гидравлики и гидронасосной станции. Агрегаты таких станов имеют меньшие габариты за счет отсутствия гидроцилиндров и, тем самым, требуют меньших площадей в производственном цехе. Уменьшаются также расходы на фундаменты, ведь для электромеханических станов не требуются массивные фундаменты. Кроме того, эти станы могут быть смонтированы и пущены в эксплуатацию в кратчайшие сроки за счет сборки модулей (принципа агрегатности) и возможность монтажа стана на существующий фун-

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

дамент. Электромеханические станы обладают существенной простотой техобслуживания, не требуются специалисты-гидравлики. Используемые компоненты - двигатели, шестерни редукторов и зубчатые рейки – стандартизированы и унифицированы, поэтому количество позиций номенклатуры запчастей сведено к минимуму.

На рисунке 2.3 представлена схема радиально-осевого электромеханического стана типа RAW-EM с механическим приводом, где 1 – станина, 2 – радиальный валок, 3 – приводной стол, 4 – осевые валки, 5 – центрирующее устройство.

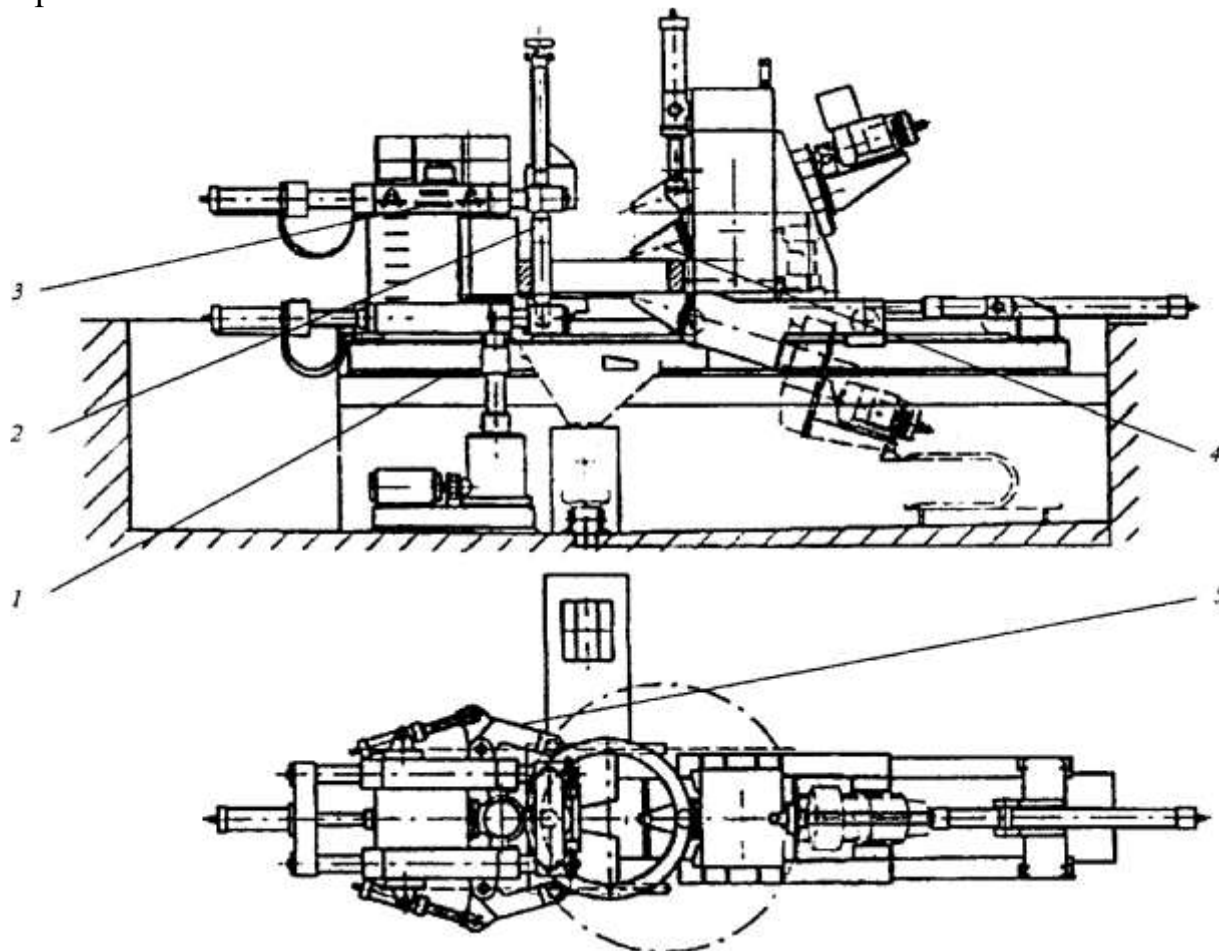


Рисунок 2.3 - Схема радиально-осевого электромеханического стана типа RAW-EM с механическим приводом

Для привода вращения валков обычно используют электродвигатели постоянного тока с регулируемой частотой вращения. Для привода движения радиальных и осевых подач валков используют электромеханический привод, что снижает стоимость кольцераскатного стана, уменьшает его габариты, сокращает затраты на обслуживание. Кольцераскатные станы с электромеханическим приводом имеют уменьшенные фундаменты и занимают меньшие производственные площади по сравнению со станами с гидроприводом. Кольцераскатные станы с электромеханическим приводом подач позволяют создавать радиальные и осевые усилия прокатки до 2,5 МН.

Для повышения точности раскатанного кольца и исправления погрешностей формы кольца после раскатки применяется операция правки кольца путем нагружения радиальными растягивающими или сжимающими усилиями.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Для осуществления этой операции используется устройство под названием эспандер.

SMS Meer выпускает кольцевые эспандеры, подходящие для эксплуатации с кольцепрокатными станами, схема которых показана на рисунке 2.4. Погрешность кольца после кольцераскатки 1 исправляется путем деформирования кольца раздвигающимися в радиальном направлении кулачками 2. Перемещение кулачков и создание необходимого усилия на кулачках осуществляется конусом 3, перемещаемым гидроцилиндром 4. Система управления автоматически регистрирует упругую отдачу и компенсирует ее во время следующего хода эспандера. Интегрированное вращающееся устройство вносит свой вклад в соблюдение точности расширяемых колец.

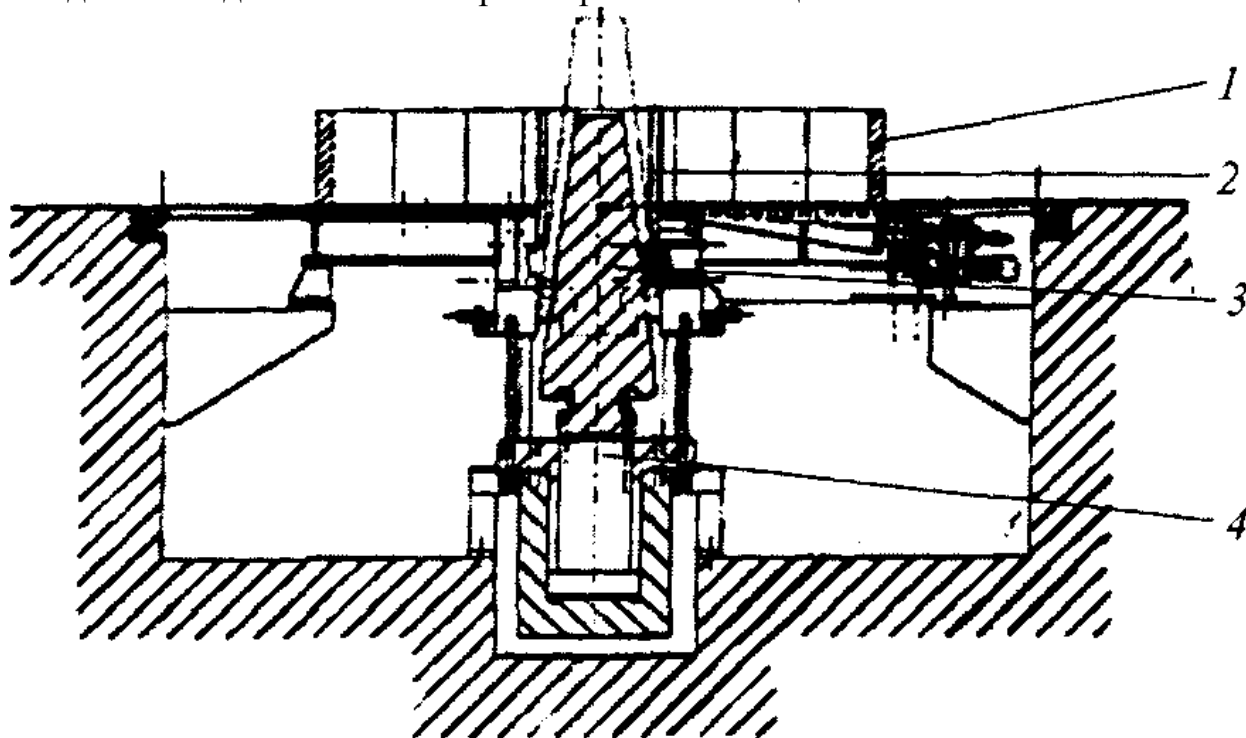


Рисунок 2.4 - Конструктивная схема кольцевого эспандера

Преимущество эспандеров: высокая рентабельность при производстве колец. Чем точнее контур колец приближен к окончательному контуру, тем меньше будет требоваться металла для их производства. Кроме того, значительно уменьшены процессы нагревания и механической обработки, что также ведет к экономии производственных затрат.

Компания SMS Meer для колец диаметром от 100 до 500 мм предлагает многопозиционный радиально-осевой кольцераскатный стан типа MERW, предназначенный для работы в автоматизированном кольцераскатном комплексе. На стане типа MERW можно раскатывать кольца с прямоугольным и профилированным профилем, максимальное усилие прокатки составляет 160 кН.

На рисунке 2.5 предоставлена схема кольцераскатного стана типа MERW. Раскатываемый кольцевой полуфабрикат 4 подается на внутренний холостой валок 3, которых на стане располагается четыре штуки. После загрузки заготовки приводной стол 1 начинает вращение вокруг своей оси. Раскатка происходит, когда заготовка 4 сходится в контакт с приводным наружным валком

2, ось которого смещена по сравнению с приводным столом 1. Для контроля круглости и центрировки кольца в стане предусмотрены четыре направляющие вальки 5. Для контроля наружного диаметра предусмотрен неподвижный копир 6, управляющий перемещением направляющих валков 5.

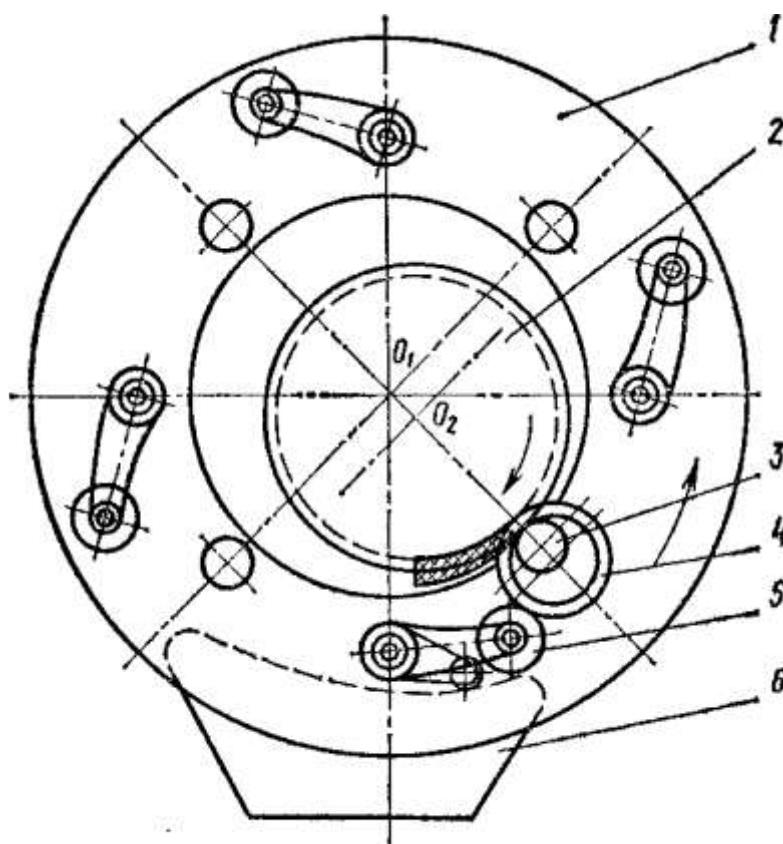


Рисунок 2.5 - Схема кольцеракатного стана типа MERW

Станы типа MERW имеют механический привод всех движений кольцеракатного стана, что обеспечивает высокую точность. Загрузка и разгрузка стана выполняется одновременно с револьверной головкой - это гарантирует высокую производительность. Быстрая перевалка инструмента уменьшает вспомогательное время машины. Этому способствует также устройство для промывки окалины, целенаправленно выводящее окалину со стана. Такая концепция стана отличается особым удобством управления и техобслуживания.

Станы типа MERW нашли широкое применение при изготовлении колец подшипников, цилиндрических и конических зубчатых колес, специальных колец для железнодорожных буферов и для авиапромышленности [3].

На колесопрокатных станах компании SMS Meer типа DRAW изготавливают цельные колеса и диски из прессованных заготовок. Колесопрокатные станы сконструированы с учетом того, что прокатка заготовки ведется в вертикальном положении. На рисунке 2.6 представлена схема раскатки. При этом два вертикальных валька обрабатывают одновременно диск колеса и бандаж с внутренней стороны. Таким образом, агрегаты работают с высокой точностью. Особенностью колесопрокатных станов является то, что прокатка заготовки ведется в вертикальном положении и два главных валька, расположенных под углом 60° к плоскости колеса, обрабатывают диск колеса и бандаж с внутренней

стороны. Задачей колесопрокатки является максимальное приближение прокатного контура колеса к окончательному контуру.

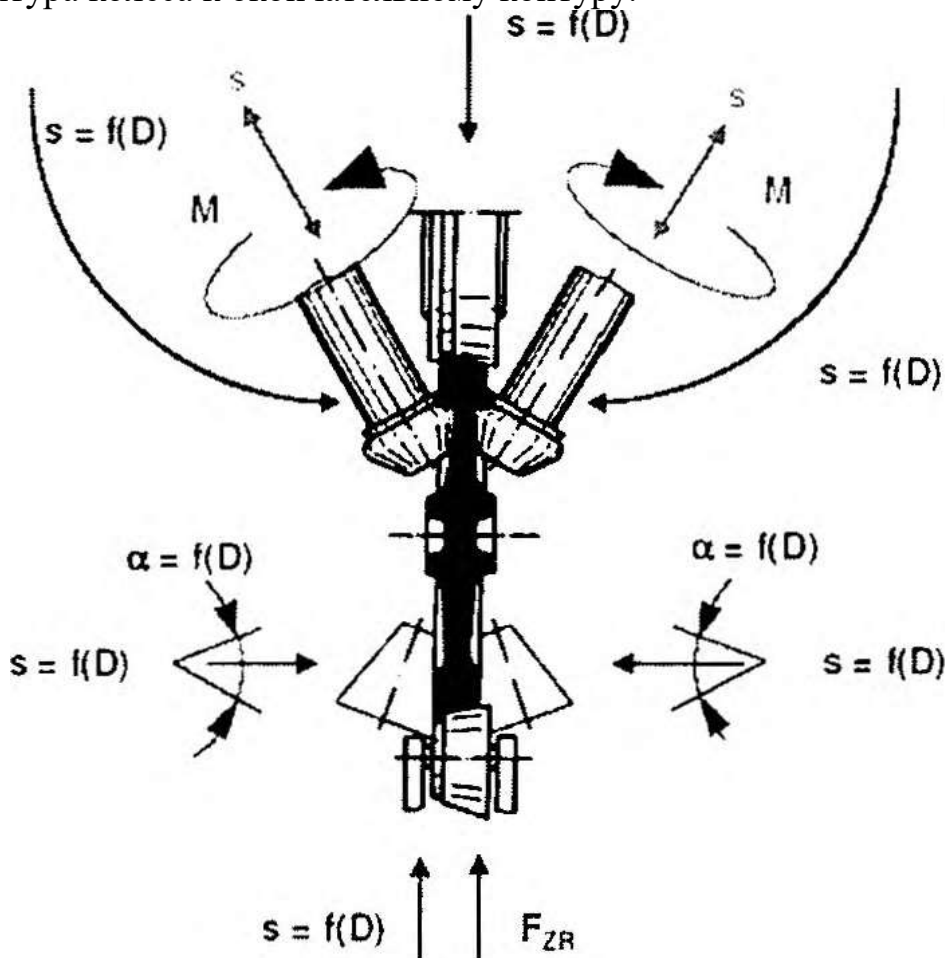


Рисунок 2.6 – Схема раскатки колеса

Колесопрокатные станы SMS Meer отличаются высокой экономичностью, точностью и стойкостью. Конструкция агрегатов обладает высокой жесткостью. Требуемые усилия деформации действуют максимально приближенно к деформирующим инструментам. Каждый вертикальный валок имеет свой собственный регулируемый привод. Кассеты для перевалки инструментов обеспечивают перевалку за очень короткое время. Благодаря современной автоматизации, можно быстро настроить технологические параметры с собственного пульта управления. С помощью измерительных лазерных приборов ведется бесконтактный замер колес. Для обеспечения надежности имеется возможность переоснастки и дооснастки агрегатов.

Так же существуют станы для осевой раскатки в штампе. Осевая раскатка в штампах позволяет уменьшать расход металла и экономить до 30% используемого металла по сравнению с прессовыми технологиями изготовления деталей типа колец. Осевая раскатка в штампах основана на методе локального деформирования, что позволяет снизить применяемые усилия нагружения и расширить диапазон изготавливаемых колец. Схема осевой раскатки в штампах представлена на рисунке 2.7.

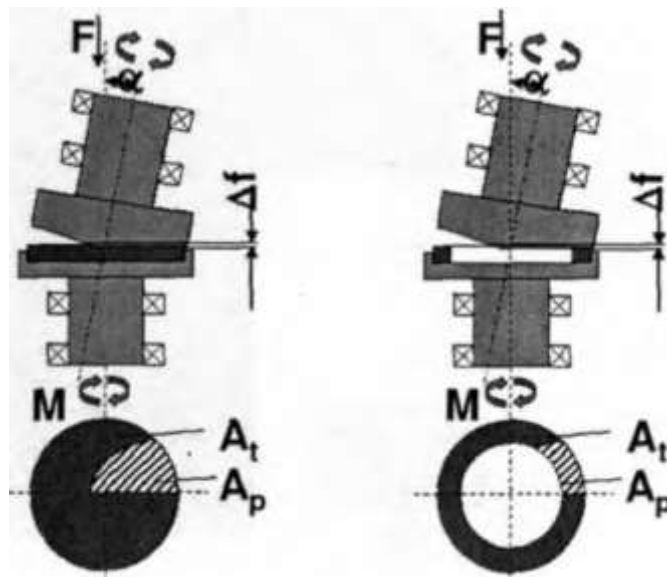


Рисунок 2.7 – Схема осевой раскатки в штампе

Предварительно раскатная заготовка кольца укладывается в нижнюю часть штампа. Верхняя часть штампа наклонена под углом к вертикальной оси нижней части штампа. Раскатка требуемой конфигурации кольца происходит при сближении верхней части штампа с нижней при одновременном их вращении. Из-за наклона верхней части штампа по отношению к нижней контакт с деформируемым кольцом происходит только на определенном секторе деформируемого кольца, что позволяет снизить усилия прокатки от 5 до 20% по сравнению с усилиями деформирования кольца в обычном штампе на прессе.

Осевая раскатка в штампах нашла широкое применение при изготовлении заготовок конических зубчатых колес, колец подшипников, колец синхронизаторов, турбинных дисков.

2.3 Обзор комплексов по раскатке колец в России и за рубежом

В составе кольцераскатных комплексов работают различные по своим назначениям системы - транспорта, нагрева, деформирования, контроля, управления. При создании кольцераскатных комплексов необходимо знать все особенности этих систем и уметь ими управлять для достижения максимальной производительности, гибкости и качества. Создание и обслуживание таких комплексов требует знаний специалистов различного уровня и разных отраслей, в связи с чем создание кольцераскатных комплексов под силу только специализированным фирмам, имеющим опыт и возможности комплексной разработки проектов кольцераскатки.

В качестве средств транспорта и механизации могут быть использованы промышленные роботы, специальные манипуляторы, автомобильные погрузчики и т. д. К средствам механизации относятся также средства для обслуживания и замены инструмента на прессе и кольцераскатном стане.

Применение рольгангов может облегчить загрузку и разгрузку машин. Простые манипуляционные устройства укладывают заготовку и снимают готовое раскатанное кольцо с машины.

Важным условием для повышения производительности комплекса является наличие механизированного склада заготовок и склада инструмента. Готовые кольца в зависимости от требований к точности и внешнему виду подвергаются охлаждению с регулируемой скоростью, проходят очистку - дробеструйную обработку, исправляются погрешности на специальных установках - эспандерах.

Обязательным условием успешной работы современного кольцераскатного комплекса является управление системой ЧПУ всех входящих устройств и средств механизации, наличие средств диагностики и возможности проведения ревизии состояния комплекса с подключением к информационным средствам фирмы-поставщика. Обслуживание комплекса требует определенных знаний операторов и обслуживающего персонала, в связи с чем должно быть предусмотрено обучение этих специалистов на фирме-поставщике.

Кольцераскатный комплекс должен включать основные технологические операции, состоящие из резки металла, нагрева заготовки, формирования заготовки кольца на прессе или молоте и раскатки кольца.

В зависимости от размеров колец и уровня механизации, вариантов резки и нагрева материала в состав кольцераскатного комплекса могут включаться различные виды оборудования:

- участок складирования материала;
- комплекс для резки металла;
- нагревательное устройство;
- устройство удаления окалины после нагрева;
- манипулятор или средства механизации от нагревательного устройства к прессу;
- пресс или молот для осадки и прошивки заготовок;
- устройство охлаждения, смазки инструмента и удаления окалины с пресса;
- устройство для дополнительного нагрева заготовок после пресса;
- манипулятор от пресса к кольцераскатному стану;
- кольцераскатный стан;
- устройство охлаждения, смазки инструмента и удаления окалины с кольцераскатного стана;
- перегружатель от кольцераскатного стана на транспортер;
- транспортер для колец;
- устройство для термообработки колец;
- Устройства для очистки от окалины;
- устройство для калибровки колец (эспандер);
- участок складирования готовых колец;
- место хранения инструмента и средства механизации для замены инструмента;
- кабина с пультом управления.

Следует отметить, что в составе кольцераскатного комплекса используется ряд различных систем для контроля состояния заготовки на различных операциях - контроля веса, контроля температуры, контроля геометрических параметров. Должны быть предусмотрены устройства смазки и охлаждения штампов на прессе или молоте и раскатных валков на кольцераскатном стане, системы удаления окалины, дыма и вентиляции.

На рисунке 2.8 представлено планировочное решение компании SMS Meer для кольцераскатного комплекса, состоящего из прессы и кольцераскатного стана, с обслуживанием прессы и кольцераскатного стана одним манипулятором. Для этой схемы кольцераскатного комплекса прессом и кольцераскатным станом управляют один или два оператора [21].

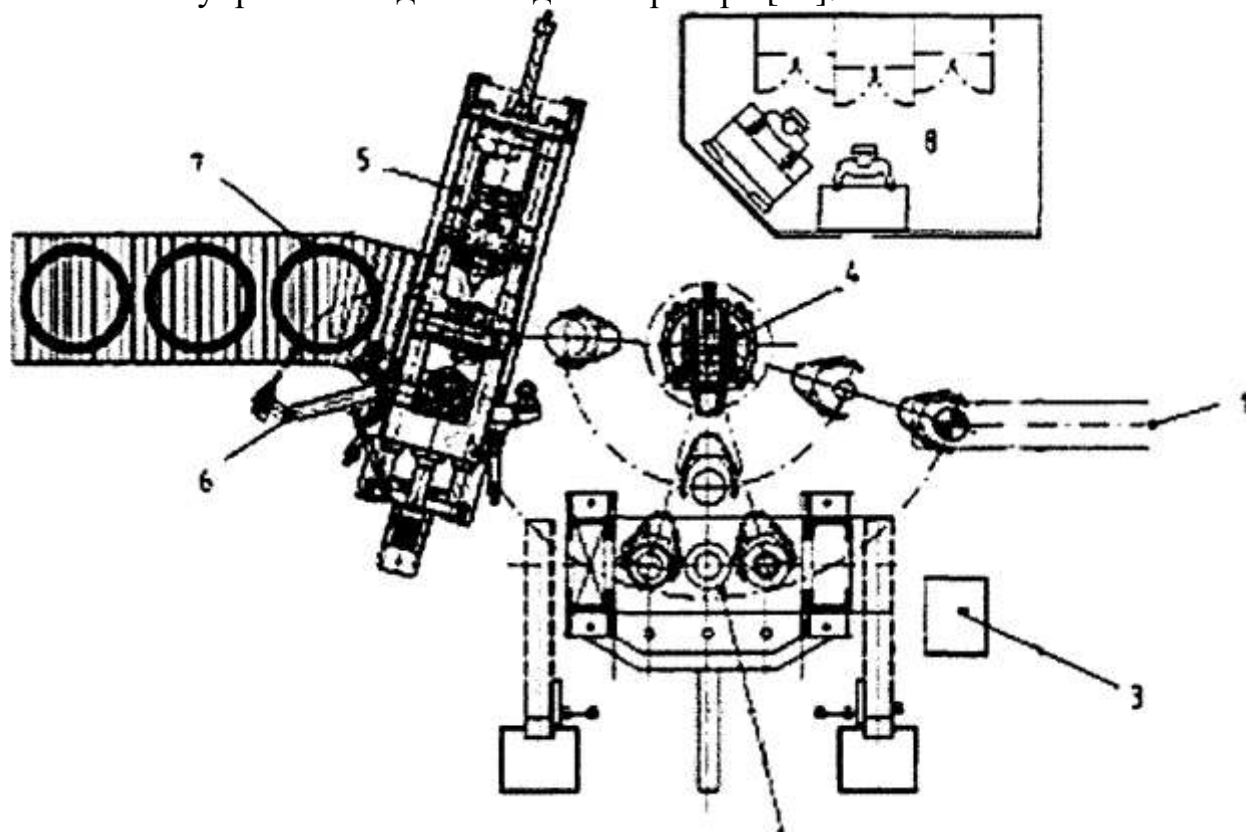


Рисунок 2.8 - Планировочное решение компании SMS Meer для кольцераскатного комплекса из прессы и кольцераскатного стана

Кольцераскатный комплекс включает технологическое оборудование и средства механизации: приемное устройство для нагретой заготовки 1, пресс для осадки и прошивки заготовок 2, устройство охлаждения, смазки инструмента и удаления окалины с прессы 3, манипулятор обслуживания прессы и кольцераскатного стана 4, кольцераскатный стан 5, кольцеразгрузочное устройство 6, транспортер для колец 7, кабина с пультом управления 8.

На рисунке 2.9 представлено планировочное решение компании SMS Meer для кольцераскатного комплекса, включающего нагрев заготовок в камерной печи с вращающимся подом, пресс и кольцераскатный стан.

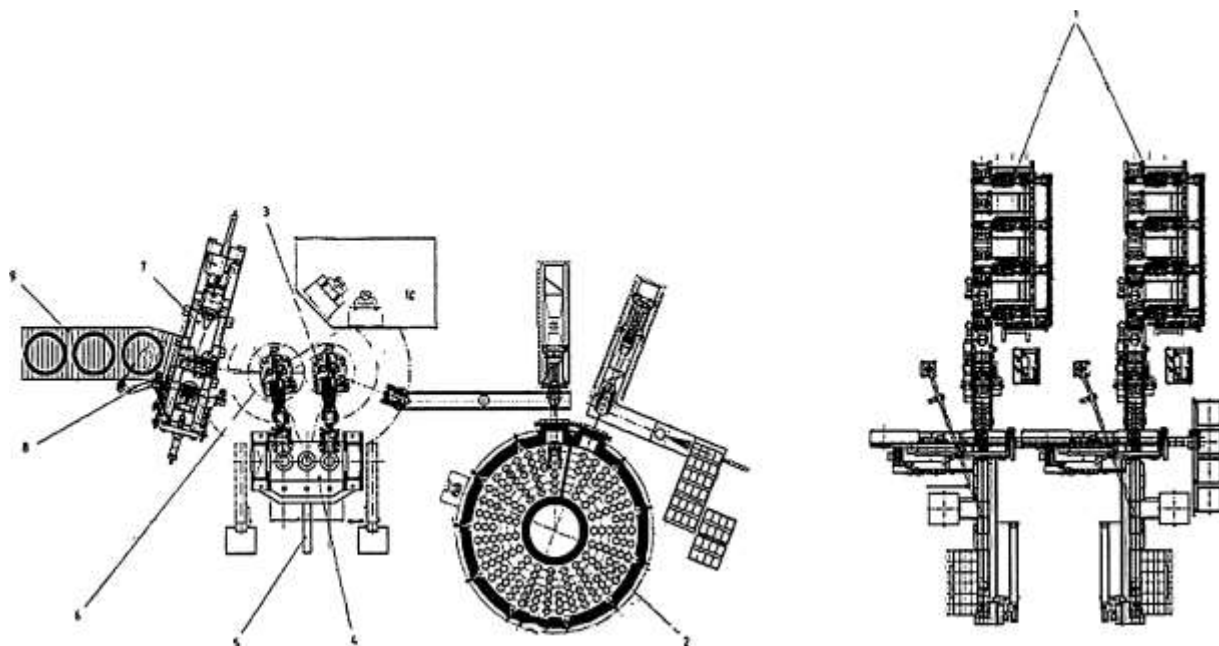


Рисунок 2.9 - Планировочное решение компании SMS Meer для кольцераскатного комплекса из пресса, кольцераскатного стана и камерной печи с вращающимся подом

Такая схема механизации позволяет управлять работой пресса и кольцераскатного стана с кабины управления одним или двумя операторами. Представленный кольцераскатный комплекс включает технологическое оборудование и средства механизации: комплекс для резки металла 1, нагревательное устройство 2, манипулятор от нагревательного устройства к прессу 3, пресс для осадки и прошивки заготовок 4, устройство охлаждения, смазки инструмента и удаления окалины с пресса 5, манипулятор от пресса к кольцераскатной машине 6, кольцераскатный стан 7, перегружатель от кольцераскатного стана на транспортер 8, транспортер для колец 9, кабина с пультом управления 10.

На рисунке 2.10 предоставлена схема кольцераскатного участка ответственного предприятия ПАО «Уральская кузница».

Кольцераскатный участок состоит из пультовой управления кольцераскатного стана 1, прямка с тарой для раскатанных колец 2, приводного рольганга 3, кольцераскатного стана 4 модели RAW 200 (250) /160 (200) -3500/1000, манипулятора 6 грузоподъемностью 6 тонн, камерных печей 6, 7, 8 для нагрева заготовок под ковку и раскатку, гидравлического пресса 9 усилием 500тс для правки колец, гидравлического пресса 10 усилием 1000тс дляковки заготовок под раскатку и манипулятора 11 грузоподъемностью 3 тонны.

Современные кольцераскатные станы и комплексы обладают высокой производительностью, полной автоматизацией процесса раскатки, усовершенствованной конструкцией станов. Наиболее распространены радиально-аксиальные кольцераскатные станы из-за универсальности их применения. Заводов изготовителей раскатных колец на территории России небольшое количество, самыми крупными предприятиями являются: ПАО «Уральская кузница», ПАО «Русполимет», ООО «Уральский металлургический завод» и ПАО «ЧКПЗ».

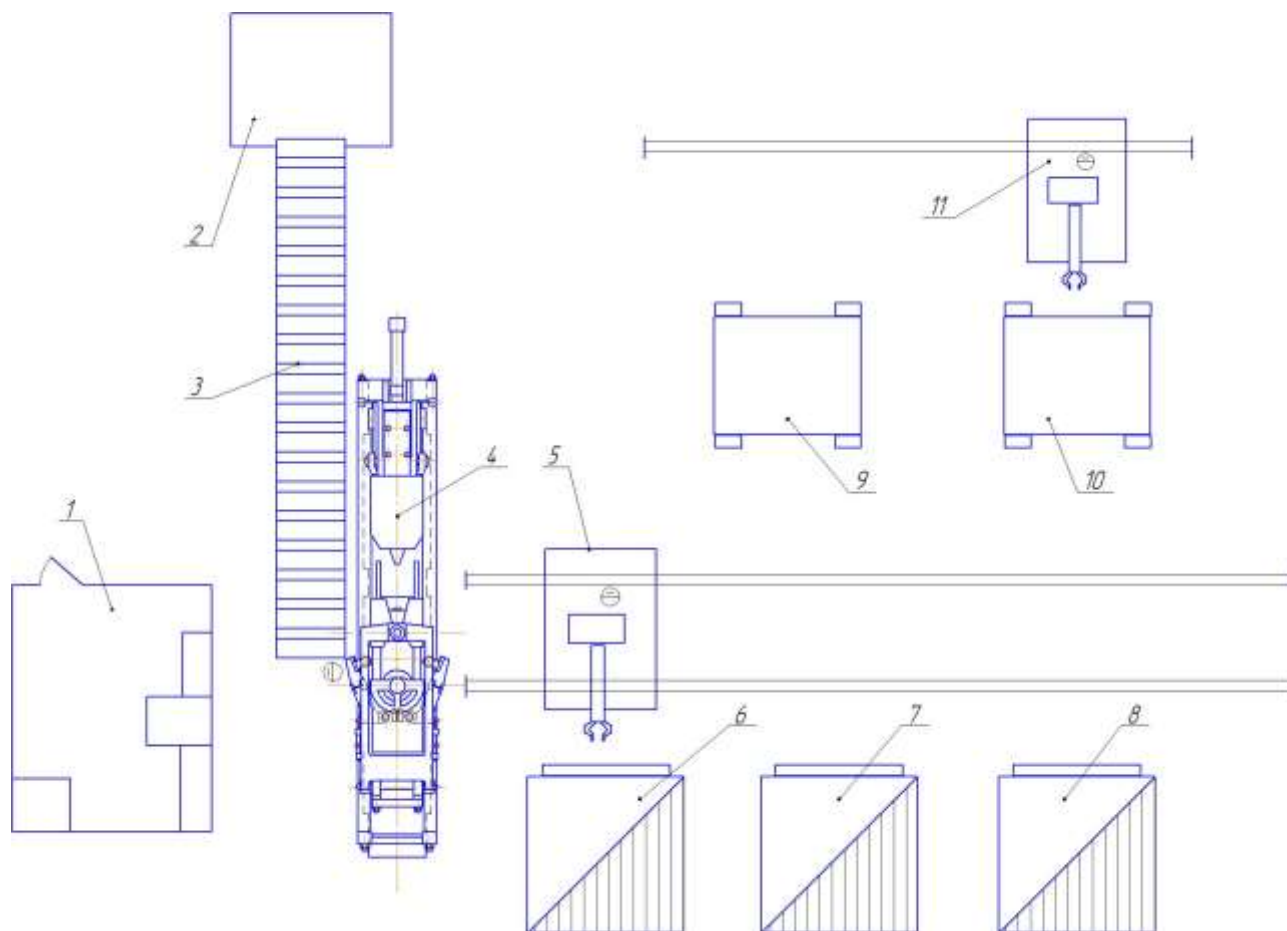


Рисунок 2.10 – схема кольцеракатного участка ПАО «Уральская кузница»

Для предприятия ООО «ЧТЗ-Уралтрак» имеет смысл восстановить участок раскатки колец, для восстановления конкурентоспособности в области раскатки колец.

3 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ УЧАСТКА РАСКАТКИ КОЛЕЦ

Максимальный месячный объем выпускаемой продукции кольцераскатного стана составляет 160 т/мес. Потребность бандажей трамвайных колес составляет 400 шт./мес. то приблизительно равно 40 т./мес., то есть заказ обеспечивает 25% загрузку стана. Объем месячной партии серийных раскатных деталей составляет порядка 110 т/мес., что обеспечивает 69% загрузку кольцераскатного стана. Соответственно суммарная загрузка кольцераскатного стана будет составлять порядка 94%, что является недопустимо. Для этого необходимо разработать ряд мероприятий по модернизации участка кольцераскатного стана.

Рассмотрев существующие конструкции кольцераскатных станков, а так же комплексов по раскатке колец требуется разработать кольцераскатный стан для предприятия ООО “ЧТЗ-Уралтрак” который будет обеспечивать выпуск продукции в требуемом объеме по спецификации заказа колес трамвайных бандажей и плана стратегического развития предприятия.

Для решения существующих проблем участка раскатки колец и его модернизации предлагается список мероприятий для производства раскатных колец серийных деталей и коммерческих заказов, в том числе и бандажей трамвайных колес.

1. Разработка конструкции кольцераскатного стана, отвечающий современным требованиям, предъявляемым к раскатным кольцам. Стан должен быть прост в эксплуатации, надежен, содержать унифицированные узлы и агрегаты, стандартные детали в соответствии с ГОСТами Российской Федерации, ремонт должен осуществляться силами ремонтных цехов и подразделений предприятия. Конструкция стана будет основываться на современных конструктивных исполнениях кольцераскатных станков, а также на базе списанного кольцераскатного стана RAW 50/40-1400/300.

2. Модернизация и расширение кольцераскатного участка, оснащение современным вспомогательным оборудованием, таким как: рольганги, нагревательная методическая печь, тельферы, манипуляторы, толкатели, а также средствами механизации труда. Организация заготовительного участка поковок под раскатку колец, оснащение его формоизменяющим оборудованием, таким как штамповочные и ковочные молота, прессы.

3. Автоматизация процесса раскатки и работы стана, от загрузки заготовок в рабочую область стана до их складирования, включающая контроль размеров раскатных колец в момент раскатки.

4. Моделирование и освоение раскатки профильных колец.

Предлагается разработать конструкцию кольцераскатного стана, на котором будет возможность производить кольца максимальным наружным диаметром 1400 мм, высотой до 300 мм и массой до 600 кг. Высота кольца должна регулироваться, то есть требуется кольцераскатный стан с аксиальными валами.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Для обеспечения непрерывной работы стана и производства раскатанных колец, необходимо снабдить участок предварительным деформирующим оборудованием, таким как штамповочные молота и пресса, ковочные молота и пресса. Для обеспечения потребностей мелкосерийных и крупносерийных заказов выберем оборудование, преимущества и недостатки которого сведем в таблице 3.1:

Таблица 3.1 – Описание предлагаемого оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Описание	Преимущества	Недостатки
1	Ковочный молот	Для мелкосерийного и единичного производства заготовок под раскатку колец прямоугольного сечения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Для изготовления заготовки не требуется специальная оснастка 2. Простота эксплуатации и ремонта 3. Широкая номенклатура типоразмеров изделий. 4. Более дешевая себестоимость изделий за счет отсутствия штамповой оснастки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Затруднена раскатка профильных колец. 2. Малая производительность в сравнении со штамповочными молотами. 3. Требуется высокая квалификация кузнеца.
2	Ковочный пресс	Для мелкосерийного и единичного производства заготовок под раскатку колец прямоугольного сечения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Для изготовления заготовки не требуется специальная оснастка 2. Широкая номенклатура типоразмеров изделий. 3. Более дешевая себестоимость изделий за счет отсутствия штамповой оснастки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Затруднена раскатка профильных колец. 2. Малая производительность в сравнении со штамповочными молотами. 3. Требуется высокая квалификация кузнеца. 4. Сложность эксплуатации и ремонта.

Окончание таблицы 3.1

3	Штамповочный молот	Для крупносерийного производства заготовок под раскатку колец с прямоугольным и сложно профильным сечением за счет придания формы заготовки в штампе.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая производительность. 2. Более точные геометрические размеры заготовок за счет формирования фигуры в штампе. 3. Возможность полной автоматизации связки штамповочного молота и кольцераскатного стана. 4. Простота эксплуатации и ремонта. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Более дорогая себестоимость изделия за счет штамповой оснастки. 2. Ограниченная номенклатура заготовок под раскатку.
---	--------------------	---	--	--

3.1 Выбор оборудования

Предлагается установить оборудование на участок раскатки колец из уже существующего на предприятии. Основное деформирующее оборудование заготовок под раскатку:

1. Ковочный молот м.п.ч. 3 тонны – для единичного и мелкосерийного производства деталей с прямоугольным сечением массой от 50 кг до 150 кг.

2. Ковочный пресс усилием 1000 тс - для единичного и мелкосерийного производства деталей с прямоугольным сечением массой от 150 кг до 1000 кг.

3. Штамповочный молот м.п.ч. 9 тонн и обрезающей пресс 630 тс – для крупносерийного производства деталей с прямоугольным и профильным сечением массой от 30 кг до 70 кг.

4. Штамповочный молот м.п.ч. 12 тонн и обрезающей пресс 1060 тс - для крупносерийного производства деталей с прямоугольным и профильным сечением массой от 70 кг до 120 кг.

Так же учтем, что в кузнечном цехе №1 имеется штамповочный молот м.п.ч. 15 тонн, который имеет возможность штамповать поковки массой от 100 до 230 кг.

Технические характеристики паровоздушного ковочного молота двойного действия м.п.ч. 3 тонны показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Технические характеристики ковочного молота м.п.ч. 3 тонны

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Энергия удара	кДж	≥80
Номинальная масса падающих частей	т	3
Частота ударов в минуту	мин ⁻¹	56

Окончание таблицы 3.2

Расстояние между стойками в свету	мм	4000
Высота рабочей зоны в свету	мм	630
Размер бабы	мм	1180
Размеры зеркала бойка	мм	600x340
Масса поковки	кг	50...150

Технические характеристики гидравлического ковочного пресса 1000 тс колонной конструкции показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Технические характеристики ковочного пресса 1000 тс

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Номинальное усилие пресса	тс	1000
Наибольший ход подвижной траверсы	мм	960
Размер рабочей зоны в свету поперек оси ковки	мм	1600
Размеры стола (ширина x длина)	мм	1000x2500
Число ходов подвижной траверсы в 1 минуту при рабочем усилии до 75%	мин ⁻¹	25
Мощность привода	кВт	800
Масса поковки	кг	100...1000

Технические характеристики паровоздушного штамповочного молота м.п.ч. 9 тонн показаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Технические характеристики штамповочного молота м.п.ч. 9 тонн.

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Энергия удара	кДж	≥220
Номинальная масса падающих частей	т	9
Частота ударов в минуту	мин ⁻¹	55
Расстояние между направляющими в свету	мм	950
Наименьшая высота штампа без хвостовика	мм	440
Размер бабы	мм	1100
Расстояние от уровня пола до плоскости разьема штампа при наименьшей его высоте	мм	700
Масса поковки	кг	30...70

Технические характеристики паровоздушного штамповочного молота м.п.ч. 12 тонн показаны в таблице 3.5.

Технические характеристики обрезающего пресса усилием 630 тс показаны в таблице 3.6.

Таблица 3.5 - Технические характеристики штамповочного молота м.п.ч.
12 тонн

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Энергия удара	кДж	≥ 300
Номинальная масса падающих частей	т	12
Частота ударов в минуту	мин ⁻¹	50
Расстояние между направляющими в свету	мм	1100
Наименьшая высота штампа без хвостовика	мм	470
Размер бабы	мм	1250
Расстояние от уровня пола до плоскости разреза штампа при наименьшей его высоте	мм	700
Масса поковки	кг	70...120

Таблица 3.6 - Технические характеристики обрезающего пресса усилием
630 тс

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Номинальное усилие	тс	630
Ход ползуна	мм	400
Частота ходов ползуна в 1 минуту	мин ⁻¹	20
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в нижнем положении	мм	630
Размеры стола (Д x Ш)	мм	1200 x 1200
Мощность привода	кВт	80

Технические характеристики однокривошипного закрытого обрезающего пресса усилием 1060 тс показаны в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Технические характеристики двухкривошипного закрытого обрезающего пресса усилием 1060 тс

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Номинальное усилие	тс	1060
Ход ползуна	мм	500
Частота ходов ползуна в 1 минуту	мин ⁻¹	16
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в нижнем положении	мм	900
Размеры стола (Д x Ш)	мм	1250 x 1250
Мощность привода	кВт	100

Для резки мерных заготовок выберем полуавтоматический ленточно-отрезной станок Uzay Makina UMSY 420, который находится в кузнечно-заготовительном цеху (КЗЦ). Максимальный диаметр проката для резки составляет Ø420 мм, что удовлетворяет нашим условиям. В таблице 3.8 предоставлены технические характеристики ленточноотрезного станка Uzay Makina UMSY 420.

Таблица 3.8 – Технические характеристики станка Uzay Makina UMSY 420

Характеристика	Параметр	Единица измерения	Числовой показатель
Электродвигатель главного привода	Мощность	кВт	3,0
	Об./мин.	мин ⁻¹	1500
Электродвигатель гидропривода	Мощность	кВт	0,75
	Об./мин.	мин ⁻¹	1500
Электродвигатель подачи СОЖ	Мощность	кВт	0,09
	Об./мин.	мин ⁻¹	3000
Электродвигатель щетки очистки пилы	Мощность	кВт	0,09
	Об./мин.	мин ⁻¹	1500
Скорость резки	Скорость	мм/мин	20...100
Высота рабочего стола	Высота	мм	500
Габариты	Д x Ш x В	мм	2500 x 1370 x 1900
Размер ленточной пилы	Д x Ш x В	мм	5040 x 34 x 1,1
Вес станка	Вес	кг	1540
Производитель	Uzay Makina, Istanbul		

В качестве вспомогательного оборудования будут использоваться приводные и не приводные рольганги, транспортеры, манипуляторы.

Для облегчения загрузки заготовок в печь и выгрузки из печи на участке раскатки предлагается снабдить методическую печь гидроцилиндрами для проталкивания заготовок в печь и выгрузки.

Предварительно предлагается технология штамповки на молоте м.п.ч. 12 тонн с последующей раскаткой на кольцераскатном стане. Для того, чтобы избежать дополнительно подогрева кольца между штамповкой и раскаткой предлагается установить подземный транспортер. Принцип работы, которого будет заключаться в следующем. Поковка, после обрезки облоя и пробивки отверстия на прессе, будет сталкиваться в яму, находящуюся напротив рабочей области прессы. В яме будет находиться ленточный транспортер, который под полом будет транспортировать поковку на участок кольцераскатки. На участке кольцераскатки будет стоять приемник, который будет осуществлять вертикальный подъем отштампованного кольца к кольцераскатному стану. С приемника, кузнец, вручную будет стаскивать заготовку под раскатку на приводной рольганг.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Для производства деталей требуется разработать технологический процесс и конструкторскую оснастку на базе стандартов предприятия и учитывая наличие и состояние существующего оборудования.

4.1 Конструктивно-технологический анализ детали

Деталь "бандаж трамвайного колеса" показана в приложении А является представителем класса кольцеобразных деталей. Масса детали: 76,5 кг. Материал: сталь конструкционная рессорно-пружинная - Сталь 65Г ГОСТ 5257-97 [7], потребность деталей составляет 400 шт./мес.

Бандаж трамвайного колеса разработан по ГОСТ 25712-88 [8], который распространяется на бандажи, обрабатываемые при формировании колесных пар для всех типов пассажирского подвижного состава трамвая широкой и узкой колеи.

Основными операциями горячей объемной штамповки являются осадка, штамповка и обрезка облоя с одновременной прошивкой отверстия, затем раскатки на кольцераскатном стане. Волокно должно огибать контур детали, иметь минимальное количество участков, имеющих перерезанные волокна.

По заданию поковка относится к II группе по ГОСТ 8479-70 [9]. Это значит, что поковка будет проходить испытание на твердость. Условия комплектования партии: поковки одной марки стали, прошедшие термическую обработку по одинаковому режиму. Количество поковок от партии подлежащих испытанию – 5%. Нормы твердости поковок II и III групп устанавливаются по соглашению изготовителя с потребителем.

Для изготовления детали " бандаж трамвайного колеса " применяется материал – сталь конструкционная рессорно-пружинная марки 65Г по ГОСТ 5257-97. Назначение – пружины, рессоры

Химический состав стали показан в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Химический состав стали 65Г

	Химический элемент								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
Содержание, %	0,62-0,7	0,17-0,37	0,9-1,2	≤0,25	≤0,035	≤0,035	≤0,25	≤0,2	≈97

Предварительная технология изготовления кузнечной заготовки предлагается следующая:

1. Резка мерных заготовок на ленточно-отрезном станке;
2. Штамповка на молоте с м.п.ч. 12 тонн;
3. Обрезка облоя и пробивка отверстия горячей поковки на двухкриловошипном закрытом прессе усилием 1060 тс;
4. Раскатка на кольцераскатном стане RAW 50/40-1400/300.

4.2 Конструирование поковки и штамповой оснастки

Поковка разрабатывается в соответствии с ГОСТ 7505-89 “Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски, кузнечные напуски” [10].

Для конструирования поковки, назначения припусков, допусков и кузнечных напусков необходимо выбрать конструктивные характеристики поковки – это класс точности, группа стали, степень сложности, конфигурация поверхности разъема штампа.

Класс точности поковки осуществляется в зависимости от основного деформирующего оборудования, для штамповочного молота принимается Т5.

Группа стали назначается в зависимости от массовой доли углерода и легирующих элементов, для стали 65Г принимается М2.

Степень сложности является одной из конструктивных характеристик формы поковки, качественно оценивающей её, и используется при назначении припусков и допусков. Для нашей поковки примем степень сложности С4.

Поверхность разъема – это поверхность, по которой сопрягаются верхняя и нижняя части штампа. В открытом штампе на поверхности разъема предусматривают облойную канавку, заполняющуюся при штамповке вытекающими из ручья излишками металла, образующими облой. Для нашей поковки примем плоскую поверхность разъема – П.

Затем необходимо найти расчетную массу поковки по формуле:

$$M_{п.р.} = M_{д} * K_{р}, \quad (1)$$

где $M_{д}$ – масса детали, принимается 76,5 кг;

$K_{р}$ – расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с ГОСТ 7505-89, принимается 1,5.

Найдем расчетную массу поковки:

$$M_{п.р.} = 76,5 * 1,5 = 114,75 \text{ кг.}$$

Затем необходимо определить исходный индекс поковки для последующего назначения основных припусков, допусков и допускаемых отклонений, который определяется по номограмме ГОСТ 7505-. Индекс принимается 21.

Далее назначаем поковке припуски, допуски и напуски в соответствии с ГОСТ 7505-89.

Припуск – предусмотренное одностороннее увеличение размера поковки по сравнению с номинальным размером детали, обеспечивающее после механической обработки требуемые размеры детали и шероховатость его поверхностей.

Допуск – отклонение размера поковки от номинального, обусловленное неточностью изготовления, недоштамповкой, износом ручья штампа и т.д. Допуск зависит от массы поковки, степени ее сложности, группы стали и размеров ее поверхностей.

Напуск – увеличение припуска в целях упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности ее изготовления с контуром, соответствующим контуру готовой детали.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

К кузнечным напускам относят напуски на заранее невыполнимые элементы, штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений и перемычки отверстий.

В приложении Б показан разработанный чертеж раскатанного кольца.

Так как раскатка бандажа будет производиться без дополнительного подогрева, масса раскатанного бандажа должна соответствовать массе поковки под раскатку.

В приложении В показан разработанный чертеж поковки под раскатку.

После разработки чертежа поковки, разрабатывается конструкторская оснастка для изготовления детали. В конструкторскую оснастку входят чертежи молотовых штампов – верхний и нижний, и сборочный чертеж обрезающего штампа, который включает в себя: матрицу, пуансон, нож, стойку и выталкиватель. Так как раскатанное кольцо имеет профилировку на поверхностях внутреннего и наружного диаметров, так же разрабатывается конструкция дорнового вала с калибром для раскатки и бандажа с калибром для раскатки наружного диаметра.

Конструкторская оснастка разрабатывается по нормам и стандартам предприятия. Оснастка должна обеспечивать правильное течение металла, технологические отходы, возможность крепления на существующее оборудование и технику безопасности при транспортировке

4.3 Разработка технологического процесса

Для штамповки поковки под раскатку необходимо посчитать требуемое количество металла, которое будет учитывать потери на угар, облой, перемычку и некратность исходного проката.

Масса заготовки для штамповки определяется по формуле:

$$m_{\text{заг}} = (m_{\text{пок}} + m_{\text{обл}} + m_{\text{пер}}) * k_y, \quad (2)$$

где $m_{\text{пок}}$ – масса поковки, принимается 100 кг;

$m_{\text{обл}}$ – масса облоя;

$m_{\text{пер}}$ – масса перемычки

k_y , - коэффициент потери на угар, для газовых печей принимается 1,03.

Масса облоя находится по формуле:

$$m_{\text{обл}} = P S \rho, \quad (3)$$

где P – периметр облоя по концу облойного мостика, принимается 1696,46 мм;

S – расчетный заусенец, принимается 800 мм²;

ρ – плотность металла, принимается 0,00785 г/мм³.

Масса перемычки находится по формуле:

$$m_{\text{пер}} = \pi * \frac{d_{\text{отв}}^2}{4} * t * \rho, \quad (4)$$

где $d_{\text{отв}}$ - диаметр отверстия, принимается 170 мм;

t – толщина перемычки, принимается 10 мм.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Тогда масса перемычки будет равна:

$$m_{\text{пер}} = 3,14 * \frac{170^2}{4} * 10 * 0,00785 = 1780,9 \text{ г.}$$

Найдем массу облоя:

$$m_{\text{обл}} = 1696,46 * 800 * 0,00785 = 10653,8 \text{ г.}$$

Масса заготовки будет равна:

$$m_{\text{заг}} = (100 + 1,781 + 10,654) * 1,03 = 115810 \text{ г} = 115,81 \text{ кг.}$$

Диаметр заготовки подберем эмпирически по чертежу поковки, выберем Ø200 мм. Найдем длину заготовки по формуле:

$$l_{\text{заг}} = \frac{4 * m_{\text{заг}}}{\rho * \pi * D_{\text{заг}}^2}. \quad (5)$$

Длина заготовки будет равна:

$$l_{\text{заг}} = \frac{4 * 115,81}{0,00785 * 3,14 * 200^2} = 470 \text{ мм.}$$

Выбираем по ГОСТ 2590-2006 сортовой горячекатаный прокат Ø200 мм, немерной длины, обычной точности.

4.4 Определение энергосиловых параметров при и штамповке и раскатке

При штамповке круглых в плане поковок в открытых штампах необходимо для штамповки массу падающих частей паровоздушного штамповочного молота определяют по формуле [11]:

$$G_0 = 5,6 * 10^{-9} \sigma (1 - 0,0005 D_{\text{п}}) * \left\{ 3,75 \left(b + \frac{D_{\text{п}}}{4} \right) (75 + 0,001 D_{\text{п}}^2) + D_{\text{п}} \left(\frac{b^2}{2} + \frac{b D_{\text{п}}}{4} + \frac{D_{\text{п}}^2}{50} \right) * \ln \left[1 + \frac{2,5(75 + 0,001 D_{\text{п}}^2)}{h_0 D_{\text{п}}} \right] \right\}, \quad (6)$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр поковки по линии разъема, принимается 470 мм;

σ – предел текучести материала при температуре 900°C, принимается 54 МПа;

b – ширина мостика облойной канавки, принимается 25 мм;

h_0 – толщина мостика облойной канавки, принимается 6 мм.

Тогда, масса падающих частей будет равна:

$$G_0 = 5,6 * 10^{-9} * 54 (1 - 0,0005 * 470) * \left\{ 3,75 \left(25 + \frac{470}{4} \right) (75 + 0,001 * 470^2) + 470 \left(\frac{25^2}{2} + \frac{25 * 470}{4} + \frac{470^2}{50} \right) * \ln \left[1 + \frac{2,5(75 + 0,001 * 470^2)}{6 * 470} \right] \right\} = 11,2 \text{ т.}$$

Важнейшим параметром кольцераскатки являются усилия процесса кольцераскатки и скорости деформации. Открытая кольцераскатка характеризуется показателями зоны контакта заготовки кольца с наружным главным и внутренним дорновым валками. Усилие кольцераскатки считается для начала процесса раскатки, т.к. усилие кольцераскатки уменьшается с увеличением наружного диаметра кольца. На рисунке 4.1 показаны зоны контакта заготовки кольца с главным и дорновым валками.

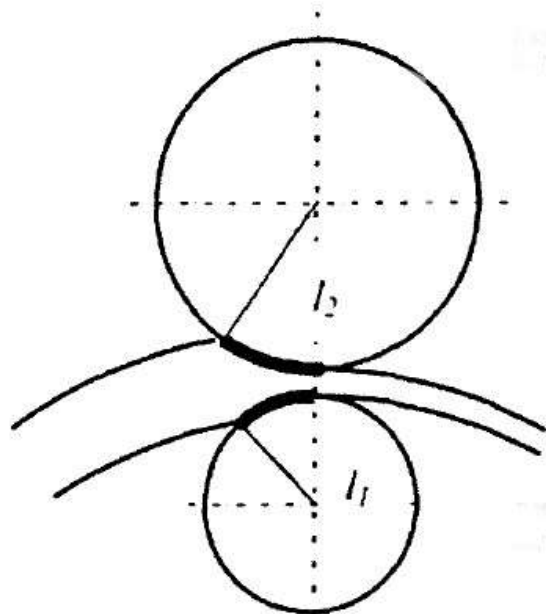


Рисунок 4.1 - зоны контакта заготовки кольца с главным и дорновым валками
Для определения зоны контакта можно воспользоваться зависимостями [1].

$$l_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta h}{r_1} \frac{c}{r_{\text{ВН}}^3 c + 1}}, \quad (7)$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \Delta h}{r_{\text{нар}}^3 + r_2} \frac{c}{c + 1}}, \quad (8)$$

$$c = \sqrt{\frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_{\text{ВН}}^3}}{\frac{1}{r_{\text{нар}}^3} + \frac{1}{r_2}}}, \quad (9)$$

где l_1 и l_2 – длина контакта с раскатываемым кольцом дорнового и главного валков;

r_1 и r_2 – радиусы внутреннего дорнового и наружного главного валков;

$r_{\text{ВН}}^3$ и $r_{\text{нар}}^3$ – внутренний и наружный радиусы заготовки.

c – безразмерный коэффициент.

Одним из показателей кольцераскатки является отношение толщины раскатываемого кольца к наибольшей длине контакта:

$$\eta = h^3 / l_1, \quad (10)$$

где h^3 – толщина стенки заготовки кольца до кольцераскатки.

При $\eta > 1$ средние давления в зонах контакта валков с раскатываемым кольцом определяются как:

$$p_1 = \left[1,25 a^{0,65} \left(\ln \eta + \frac{1}{\eta} - 0,2 \right) \right] \sigma_T, \quad (11)$$

$$p_2 = \left[1,25 a^{-0,35} \left(\ln \eta + \frac{1}{\eta} - 0,2 \right) \right] \sigma_T, \quad (12)$$

$$a = l_2 / l_1, \quad (13)$$

где σ_T – предел текучести.

Средняя скорость деформации определяется по формуле:

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$u = \frac{v\Delta h}{lh^3}, \quad (14)$$

где v - окружная скорость на среднем диаметре кольца;

l - средняя длина контакта;

Δh - обжатие за один оборот заготовки кольца, обычно принимается равным 5-8% от значения h^3 .

Усилие кольцераскатки считается по формуле:

$$P_p = p_1 l_1 b_1 = p_2 l_2 b_1, \quad (15)$$

где b_1 - высота заготовки кольца.

В таблице 8.1 предоставлены исходные данные для расчета усилия процесса раскатки кольца из стали 65Г при температуре 1180°C.

Таблица 8.1 – Исходные данные

r_1 , мм	r_2 , мм	$r_{вн}^3$, мм	$r_{нар}^3$, мм	σ_T , МПа	h^3 , мм	Δh , мм	b_1 , мм
80	300	90	225	17	135	8,5	107

Посчитаем усилие кольцераскатки по формулам 8.1-8.9:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{1}{80} - \frac{1}{90}}}{\sqrt{\frac{1}{225} + \frac{1}{300}}} = 0,423.$$

$$l_1 = \frac{2 * 8,5 * 0,423}{\sqrt{\frac{1}{80} - \frac{1}{90}} * 0,423 + 1} = 60,3 \text{ мм.}$$

$$l_2 = \frac{2 * 8,5 * 0,423}{\sqrt{\frac{1}{225} + \frac{1}{300}} * 0,423 + 1} = 25,5 \text{ мм.}$$

$$\eta = 135/60,3 = 2,24.$$

$$a = \frac{25,5}{60,3} = 0,423.$$

$$p_1 = \left[1,25 * 0,423^{0,65} \left(\ln 2,32 + \frac{1}{2,24} - 0,2 \right) \right] * 17 = 13 \text{ МПа.}$$

$$p_2 = \left[1,25 * 0,423^{-0,35} \left(\ln 2,32 + \frac{1}{2,24} - 0,2 \right) \right] * 17 = 30,76 \text{ МПа.}$$

$$P_p = 13 * 0,0603 * 0,107 = 83,8 \text{ кН.}$$

Усилие кольцераскатки на дорновом валке составляет 83,8 кН, для проверки посчитаем усилие кольцераскатки на наружном валке.

$$P_p = 30,76 * 0,0255 * 0,107 = 83,9 \text{ кН.}$$

По результатам расчета эти усилия приблизительно равны.

Определим усилие раскатки на аксиальном валке. Усилие $P_p^{\text{акс}}$, необходимое для деформации заготовки под действием аксиального валка при раскатке находится в начале процесса раскатки и определяется по формуле:

$$P_p^{\text{акс}} = F p_{\text{ср}}, \quad (16)$$

где F - площадь контакта валка с заготовкой, м²;

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

p_{cp} - среднее давление металла на валок при деформации МН/м².

Площадь контакта вала с заготовкой определяется по формуле:

$$F = \frac{b_2 + b_1}{2} \sqrt{\frac{2r_{min}^{акс} r_{н1}^{акс}}{r_{min}^{акс} + r_{н1}^{акс}}} \Delta l * 10^{-6}, \quad (17)$$

где b_2 - высота кольца после раскатки, мм;

b_1 – высота полуфабриката до раскатки, мм;

$r_{min}^{акс}$ – наименьший радиус аксиального вала в зоне контакта с заготовкой, мм;

$r_{н1}^{акс}$ – наибольший радиус аксиального вала в зоне контакта с заготовкой, мм;

Δl – обжатие, мм.

Обжатие находится по формуле:

$$\Delta l = \frac{F_{пф}}{B_{пф}} - \frac{F_3}{B_3}, \quad (18)$$

где $F_{пф}$ – площадь сечения исходной заготовки до раскатки, мм²;

F_3 – площадь сечения готового кольца, мм².

Среднее давление определяют по формуле:

$$p_{cp} = K_H K_C K_T \sigma_B, \quad (19)$$

где K_H - коэффициент, учитывающий влияние внешнего трения и напряжения, принимается 1,1;

K_C - коэффициент скорости, учитывающий влияние скорости раскатки заготовки между валками, принимается 1,12;

K_T - коэффициент наклепа, учитывающий повышение временного сопротивления при раскатке, принимается 1,1;

σ_B - временное сопротивление материала заготовки при температуре раскатки.

В таблице 4.2 предоставлены исходные данные для расчета усилия процесса раскатки кольца из стали 65Г при температуре 1180°С.

Таблица 4.2 – Исходные данные

$r_{min}^{акс}$, мм	$r_{н1}^{акс}$, мм	b_1 , мм	b_2 , мм	σ_B , МПа	$F_{пф}$, мм ²	F_3 , мм ²
41	77	107	92	27	13586	6349

Посчитаем усилие процесса кольцераскатки, действующее на верхний аксиальный валок по формулам 8.10-8.13

$$p_{cp} = 1,1 * 1,12 * 1,1 * 27 = 36,59 \text{ МПа.}$$

$$\Delta l = \frac{13586}{107} - \frac{6349}{92} = 57,97.$$

$$F = \frac{92 + 107}{2} \sqrt{\frac{2 * 41 * 77}{41 + 77}} * 57,97 * 10^{-6} = 0,001452 \text{ м.}$$

$$P_p^{акс} = 0,001452 * 36,59 = 0,5312 \text{ МН} = 53,12 \text{ кН.}$$

5 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕРАСКАТНОГО СТАНА

Для производства бандажей трамвайных колес подвижного состава вагонов необходимо получить заготовку под дальнейшую механическую обработку. Заготовка будет производиться путем раскатки штампованной заготовки. Для этого необходимо спроектировать кольцераскатный стан который будет отвечать необходимым требованиям. Наиболее значимыми параметрами стана для производства являются:

- Диаметр раскатанного кольца до 1400 мм;
- Высота раскатанного кольца до 300 мм;
- Масса раскатанного кольца до 600 кг.

В рамках выпускной квалификационной работы был разработан кольцераскатный стан и узел верхнего аксиального вала кольцераскатного стана.

Кинематическая схема стана показана на рисунке 5.1.

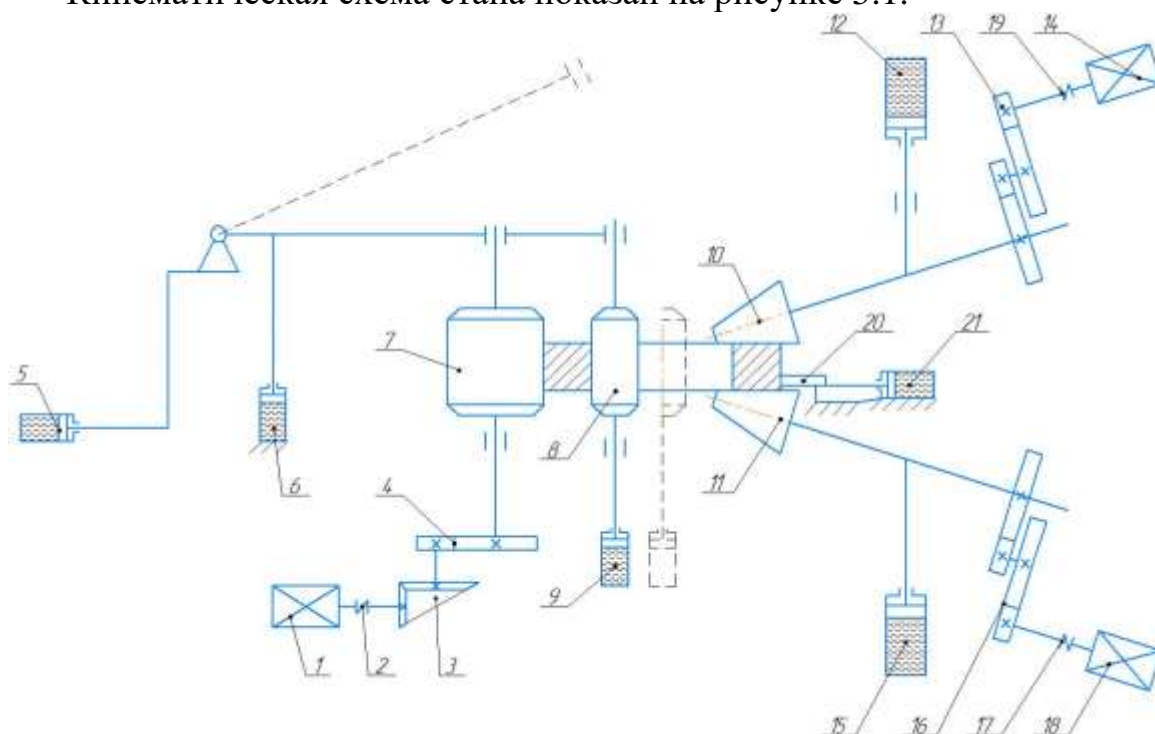


Рисунок 5.1 – Кинематическая схема кольцераскатного стана

Кольцераскатный стан состоит из электродвигателя главного вала 1, электродвигателей верхнего и нижнего аксиального вала 14 и 18, муфт 2, 17, 19, конической зубчатой передачи 3, одноступенчатого редуктора 4, главного вала 7, дорнового вала 8, верхнего и нижних аксиальных валков 10 и 11, двухступенчатого цилиндрического редуктора верхнего и нижнего аксиального вала 12 и 15, измерительного ролика 20, гидроцилиндра горизонтального перемещения радиальной клетки 5, гидроцилиндра подъема и опускания рамы дорнового вала 6, гидроцилиндра подъема и опускания дорнового вала 9, гидроцилиндра подъема и опускания верхнего и нижнего аксиального вала 12 и 15, гидроцилиндра измерительного ролика 21, а так же центрующих роликов и гидроцилиндра перемещения аксиальных клеток.

Электродвигатель 1, через муфту 2, коническую передачу 3, цилиндрическую передачу 4 подает крутящий момент на главный вал 7, который формирует наружный диаметр и профиль раскатываемого кольца. Раскатка происходит путем обжимания стенки кольца между главным валом 7 и дорновым валком 8. Дорновый валок перемещается в горизонтальном направлении при помощи гидроцилиндра 5, соединённым через поднимающуюся раму, которая поднимается и опускается при помощи гидроцилиндра 6. Перемещение дорнового валка 8 в вертикальном направлении происходит при помощи гидроцилиндра 9. Для контроля высота раскатываемого кольца и дополнительной передачи крутящего момента служат приводные аксиальные валки: верхний 10 и нижний 11. Передача крутящего момента аксиальным валкам осуществляется через электродвигатель 14 и 18, муфту 19 и 17, двухступенчатый цилиндрический редуктор 13 и 16. Перемещение верхнего аксиального валка 10 в вертикальном направлении осуществляется при помощи гидроцилиндра 12. Верхняя грань нижнего аксиального валка 11 находится на линии раскатки, гидроцилиндр 15 предназначен для проведения монтажных работ. Перемещение аксиальной клетки в горизонтальном направлении осуществляется при помощи гидроцилиндра. Измерение размеров кольца осуществляется по трем точкам контакта роликов с заготовкой. Эту функцию выполняют два центрующих ролика с гидроцилиндрами перемещения и измерительный ролик 20 с гидроцилиндром перемещения 21.

В рамках выпускной квалификационной работы требуется провести инженерные расчеты и разработать конструкцию верхнего аксиального валка кольцераскатного стана.

5.1 Выбор параметров машин и механизмов привода

На рисунке 5.2 показана схема раскатки кольца.

Кольцо раскатывается между приводным главным валком 1 и холостой оправкой 2. Оправка 2 перемещается к главному валку 1 с усилием P_p . Это усилие называется усилием раскатки. Аксиальные валки, верхний 3 и нижний 4 так же являются приводными, они обжимают кольцо по высоте и передают крутящий момент заготовке. Так же аксиальные валки имеют возможность перемещаться в горизонтальном направлении, с учетом увеличения наружного диаметра раскатываемого кольца. Верхний аксиальный валок 3 обжимает кольцо по высоте, перемещаясь в вертикальном направлении с помощью гидроцилиндра с усилием $P_p^{акс}$.

Заготовка под раскатку производится методом горячей объемной штамповки. На рисунке 5.3 показаны средние геометрические размеры заготовки под раскатку и средние геометрические размеры раскатанного кольца.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Исходные данные для расчетов предоставлены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Исходные данные

№ п/п	Обозначение	Наименование	Числовой показатель	Ед. изм.
1	r_1	Радиус дорнового вала	0,08	м
2	r_2	Радиус главного вала	0,3	м
3	$r_{вн}^3$	Радиус заготовки внутренний	0,09	м
4	$r_{нар}^3$	Радиус заготовки наружный	0,225	м
5	$r_{вн}^к$	Радиус кольца внутренний	0,297	м
6	$r_{нар}^к$	Радиус кольца наружный	0,371	м
7	$r_{н1}^{акс}$	Радиус аксиального вала в точке 1, в начале процесса раскатки	0,077	м
8	$r_{к1}^{акс}$	Радиус аксиального вала в точке 1, в конце процесса раскатки	0,165	м
9	$d_1^{акс}$	Наименьший диаметр аксиального вала	0,082	м
10	$d_2^{акс}$	Наибольший диаметр аксиального вала	0,39	м
11	h^3	Толщина стенки заготовки	0,135	м
12	$h^к$	Толщина стенки кольца	0,074	м
13	$v_н$	Скорость начала раскатки на главном валке	0,4	м/с
14	$v_к$	Скорость конца раскатки на главном валке	1,6	м/с
15	$P_p^{акс}$	Усилие раскатки, действующее на аксиальный валок в начале процесса раскатки	53120	Н

Для начала необходимо посчитать угловую скорость аксиального вала в точках контакта вала и заготовки под раскатку, вала и раскатанного кольца. Эти угловые скорости будут различаться, так как аксиальный валок имеет конусное сечение.

Угловая скорость находится по формуле:

$$\omega = v/r, \quad (20)$$

где v – линейная скорость, м/с;

r – радиус окружности, м.

Линейная скорость в точке 1 кольца равна линейной скорости в точке 1 аксиального вала. Угловые скорости вала в момент времени равны в каждой точке рабочей поверхности. Тогда угловая скорость аксиального вала в начале процесса раскатки:

$$\omega_{н1}^{акс} = v_н / r_{н1}^{акс}, \quad (21)$$

Угловая скорость аксиального вала в конце процесса раскатки:

$$\omega_{к1}^{акс} = v_к / r_{к1}^{акс}, \quad (22)$$

Найдем угловые скорости аксиального валка в начале и конце процесса раскатки:

$$\omega_{н1}^{акс} = \frac{0,4}{0,077} = 5,19 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_{к1}^{акс} = \frac{1,6}{0,165} = 9,7 \text{ с}^{-1}.$$

Определим момент прокатки начала процесса раскатки, так как момент прокатки в процессе прокатки стремится к нулю, из-за того, что усилие раскатки стремится к нулю и максимально в начале процесса раскатки. Момент прокатки находится по формуле [12]

$$M_{пр} = 2P_p^{акс} a, \quad (23)$$

$$a = \frac{D}{2} \sin \beta, \quad (24)$$

где a – плечо приложения равнодействующей P , м;

$D_{ср}$ – средний диаметр валка, м;

β – угол, характеризующий точку приложения P , принимается 90° .

Для расчета момента прокатки возьмем средний диаметр валка, который находится по формуле:

$$D_{ср} = \frac{d_1^{акс} + d_2^{акс}}{2}, \quad (25)$$

Средний диаметр валка будет равен:

$$D_{ср} = \frac{0,082 + 0,39}{2} = 0,236 \text{ м}$$

Тогда момент прокатки будет равен:

$$M_{пр} = 2 * 53120 * \frac{0,236}{2} * \sin 90^\circ = 12536 \text{ Н * м}$$

Определим мощность прокатки по формуле:

$$N_{пр} = M_{пр} * \omega_{н1}^{акс}, \quad (26)$$

Мощность будет равна:

$$N_{пр} = 12536 * 5,19 = 65062 \text{ Вт}$$

Для определения мощности двигателя воспользуемся формулой [5]:

$$N_{дв} = \frac{N_{пр}}{\eta}, \quad (27)$$

$$\eta = \eta_{оп} * \eta_{м} * \eta_{пк}, \quad (28)$$

где η – КПД двигателя;

$\eta_{оп}$ – КПД открытой передачи, принимается 0,96;

$\eta_{м}$ – КПД муфты, принимается 0,98;

$\eta_{пк}$ – КПД подшипников качения, принимается 0,99.

Тогда мощность двигателя будет равна:

$$N_{дв} = \frac{65062}{0,96 * 0,98 * 0,99^3} = 71273 \text{ Вт}.$$

Для выбора электродвигателя необходимо подобрать номинальную мощность, воспользуемся формулой:

$$N_{ном} > N_{дв}, \quad (29)$$

Так как в процессе раскатки кольца меняется угловая скорость, необходимо установить двигатель постоянного тока, для регулировки оборотов вращения выходного вала в большом диапазоне. Для этого выберем электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, отдельным вентилятором, фильтром и тахогенератором 4ПФМ250L [13], технические характеристики которого предоставлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Технические характеристики электродвигателя

№ п/п	Характеристика	Числовой показатель	Ед. измерения
1	Мощность электродвигателя	75	кВт
2	Номинальная частота вращения	1450	мин ⁻¹
3	Регулирование частоты вращения	150...1850	мин ⁻¹

Для определения передаточного числа зубчатой передачи воспользуемся формулами:

$$i = \frac{n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{рм}}}, \quad (30)$$

$$n_{\text{рм}} = \frac{30 * \omega}{\pi}, \quad (31)$$

где $n_{\text{НОМ}}$ – номинальная частота вращения двигателя, мин⁻¹;

$n_{\text{рм}}$ – частота вращения вала рабочей машины, мин⁻¹;

ω – угловая скорость аксиального вала, с⁻¹.

Для расчетов передаточного числа возьмем значения угловой скорости аксиального вала, возникающие в начале и конце процесса раскатки.

Вычислим частоту вращения аксиального вала рабочей машины в начале процесса раскатки:

$$n_{\text{рм}}^{\text{Н}} = \frac{30 * 5,19}{3,14} = 49,59 \text{ мин}^{-1}.$$

Вычислим частоту вращения аксиального вала рабочей машины в конце процесса раскатки:

$$n_{\text{рм}}^{\text{К}} = \frac{30 * 9,7}{3,14} = 92,68 \text{ мин}^{-1}.$$

Определим передаточное число в четырех различных случаях работы машины – в конце и в начале процесса раскатки, и при минимальной и максимальной частоте вращения электродвигателя:

$$i_{\text{Н}}^{150} = \frac{150}{49,59} = 3,02.$$

$$i_{\text{Н}}^{1850} = \frac{1850}{49,59} = 37,31.$$

$$i_{\text{К}}^{150} = \frac{150}{92,68} = 1,62.$$

$$i_{\text{К}}^{1850} = \frac{1850}{92,68} = 19,96.$$

По результатам расчетов, можно сделать вывод, что передаточное число, необходимое для аксиального вала, находится в границах от 3,02 до 19,96.

Среднее значение передаточного числа будет равно:

$$i_{\text{ср}} = \frac{3,02 + 19,96}{2} = 11,49.$$

В конструкции узла аксиального вала предусмотрена прямозубая двух-ступенчатая зубчатая передача с передаточным числом 9,33, что находится в диапазоне требуемых передаточных чисел.

5.2 Определение силовых и кинематических параметров зубчатой передачи

Рассчитаем на допускаемые контактные напряжения и допускаемые напряжения изгиба пары зубчатого колеса и вала-шестерни. На рисунке 5.4 предоставлена схема зубчатой передачи.

Вращение от электродвигателя передается на вал-шестерню 4, которая передает крутящий момент на зубчатое колеса 3. Зубчатое колесо посажено на шпонку вал-шестерни 2, которая, в свою очередь, передает крутящий момент на зубчатое колесо 1. Зубчатое колесо 1 закреплено на гильзе 5 с помощью шпонки и передает ей крутящий момент. Гильза передает крутящий момент на аксиальный валок.

Определим силовые и кинематические параметры зубчатой передачи [14]. Мощность определим по формулам:

$$P_4 = P_{\text{дв}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пк}}, \quad (32)$$

$$P_{3,2} = P_4 \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пк}}, \quad (33)$$

$$P_1 = P_{3,2} \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пк}}, \quad (34)$$

Угловую скорость определим по формулам:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi n_{\text{ном}}}{30}, \quad (35)$$

$$\omega_4 = \omega_{\text{ном}}, \quad (36)$$

$$\omega_{3,2} = \frac{\omega_4}{i_{43}}, \quad (37)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_{3,2}}{i_{21}}, \quad (38)$$

Вращающий момент определим по формулам:

$$T_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (39)$$

$$T_4 = T_{\text{дв}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{пк}}, \quad (40)$$

$$T_{3,2} = T_4 i_{43} \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пк}}, \quad (41)$$

$$T_1 = T_{3,2} i_{21} \eta_{\text{оп}} \eta_{\text{пк}}, \quad (42)$$

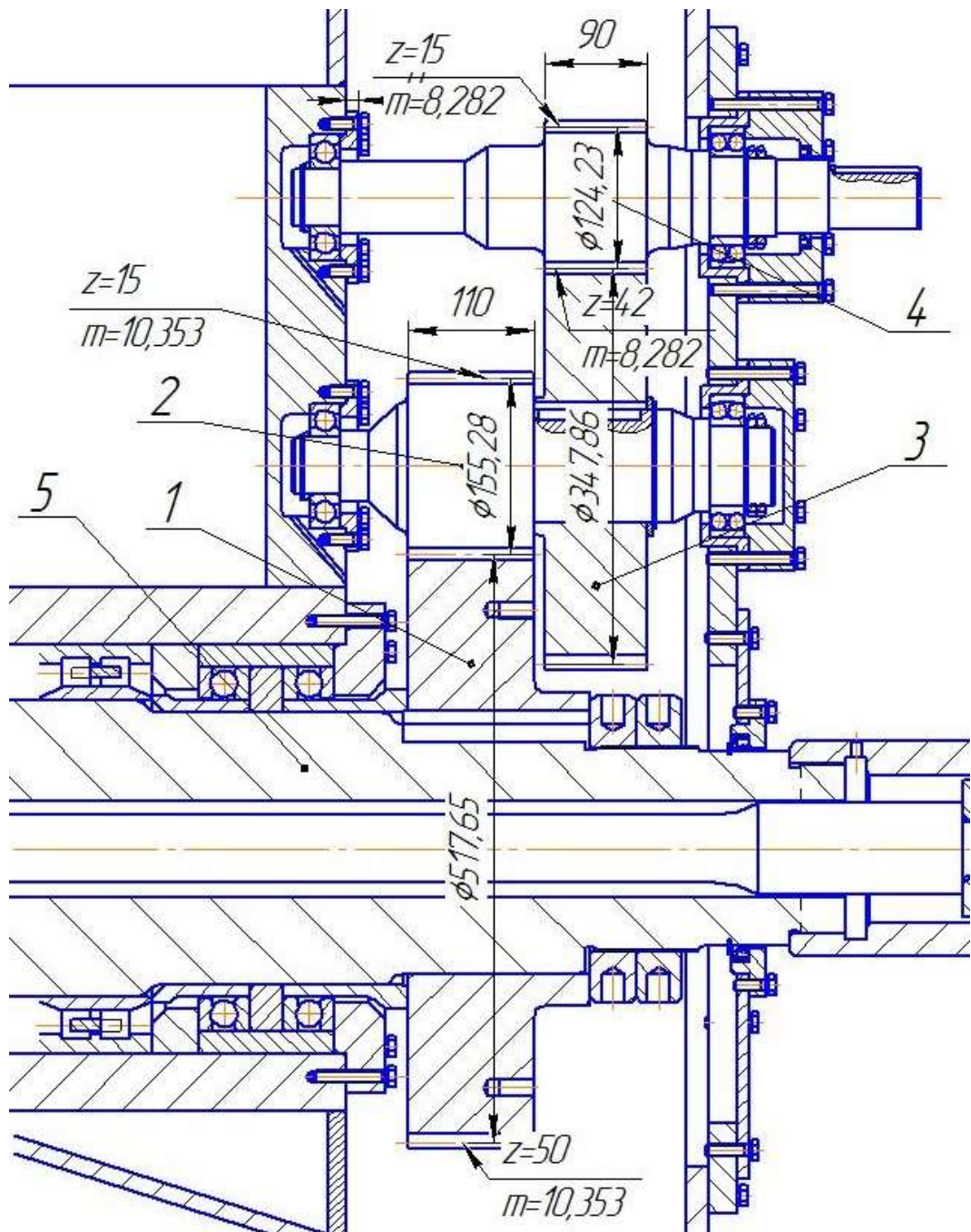


Рисунок 5.4 – Схема прямозубой цилиндрической передачи

Для удобства последующих расчетов предоставим известные данные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Известные данные для расчета параметров зубчатой передачи

№ п/п	Обозначение	Наименование	Числовой показатель	Ед. изм.
1	$P_{дв}$	Мощность электродвигателя	75000	Вт
2	$n_{ном}$	Номинальная частота вращения электродвигателя	1450	$мин^{-1}$
3	η_m	КПД муфты	0,98	

Окончание таблицы 5.3

4	$\eta_{\text{ПК}}$	КПД подшипников качения	0,99	
5	$\eta_{\text{оп}}$	КПД открытой передачи	0,96	
6	i_{43}	Передаточное число	2,8	
7	i_{21}	Передаточное число	3,33	

Определим силовые и кинематические параметры зубчатой передачи:

$$P_4 = 75000 * 0,98 * 0,99 = 72765 \text{ Вт.}$$

$$P_{3,2} = 72765 * 0,96 * 0,99 = 69156 \text{ Вт.}$$

$$P_1 = 69156 * 0,96 * 0,99 = 65726 \text{ Вт.}$$

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{3,14 * 1450}{30} = 151,77 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_4 = 151,77 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_{3,2} = \frac{151,77}{2,8} = 54,2 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_1 = \frac{54,2}{3,33} = 16,28 \text{ с}^{-1}.$$

$$T_{\text{дв}} = \frac{75000}{151,77} = 494,17 \text{ Н * м.}$$

$$T_4 = 494,17 * 0,98 * 0,99 = 479,44 \text{ Н * м.}$$

$$T_{3,2} = 479,44 * 2,8 * 0,96 * 0,99 = 1275,85 \text{ Н * м.}$$

$$T_1 = 1275,85 * 3,33 * 0,96 * 0,99 = 4037,85 \text{ Н * м.}$$

5.3 Определение консольных сил зубчатой передачи

Окружная сила в зацеплении считается по формулам:

$$F_{t1} = \frac{2T_1 * 10^3}{d_1}, \quad (43)$$

$$F_{t2} = F_{t1}, \quad (44)$$

$$F_{t3} = \frac{2T_3 * 10^3}{d_3}, \quad (45)$$

$$F_{t4} = F_{t3}, \quad (46)$$

Найдем окружные силы для каждого зубчатого колеса и вала-шестерни:

$$F_{t1} = \frac{2 * 4037,85 * 10^3}{517,65} = 15601 \text{ Н}$$

$$F_{t2} = 15601 \text{ Н}$$

$$F_{t3} = \frac{2 * 1275,85 * 10^3}{347,84} = 7336 \text{ Н}$$

$$F_{t4} = 7336 \text{ Н}$$

Радиальная сила в зацеплении считается по формулам:

$$F_{r1} = F_{t1} * \text{tg} \alpha, \quad (47)$$

$$F_{r2} = F_{r1}, \quad (48)$$

$$F_{r3} = F_{t3} * \text{tg} \alpha, \quad (49)$$

$$F_{r4} = F_{r3}, \quad (50)$$

где α – угол зацепления, принимается 20° .

Найдем радиальные силы для каждого зубчатого колеса и вала-шестерни:

$$F_{r1} = 15601 * \operatorname{tg}20^\circ = 5678 \text{ Н.}$$

$$F_{r2} = 5678 \text{ Н.}$$

$$F_{r3} = 7336 * \operatorname{tg}20^\circ = 2670 \text{ Н.}$$

$$F_{r4} = 2670 \text{ Н.}$$

5.4 Выбор материалов зубчатых передач и определение допускаемых напряжений

Выберем материал и термическую обработку. Данные предоставлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Термообработка зубчатых колес и валов-шестерен

№ п/п	Номер на чертеже	Обозначение детали	Материал	Термообработка	Твердость		
					HRC	HRC _{cp}	HB _{cp}
1	1	Зубчатое колесо	20ХН3А	Улучшение	50...54	52	512
2	2	Вал-шестерня	20ХН3А	Улучшение	56...60	58	589
3	3	Зубчатое колесо	20ХН3А	Улучшение	50...54	52	512
4	4	Вал-шестерня	20ХН3А	Улучшение	56...60	58	589

5.5 Определение допускаемых контактных напряжений

Определяем коэффициент долговечности по формуле [14]:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{H0}}{N}}, \quad (51)$$

где N_{H0} – число циклов перемены напряжений соответствующее пределу выносливости;

N – число циклов перемены напряжений за весь срок службы.

$$N = 573\omega L_h, \quad (52)$$

где ω – угловая скорость соответствующего вала-шестерни или зубчатого колеса, с^{-1} ;

L_h – срок службы привода, ч.

Найдем срок службы привода по формуле:

$$L_h = 365L_r K_r t_c L_c K_c, \quad (53)$$

где L_r – срок службы привода, принимается 6 лет;

K_r – коэффициент годового использования;

t_c – продолжительность смены, принимается 8 ч;

L_c – число смен, принимается 1;

K_c – коэффициент сменного использования, принимается 1.
Коэффициент годового использования найдем по формуле:

$$K_r = \frac{n_{\text{раб}}}{365}, \quad (54)$$

где $n_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней в году, принимается 247.

Коэффициент годового использования будет равен:

$$K_r = \frac{247}{365} = 0,677.$$

Найдем срок службы привода:

$$L_h = 365 * 6 * 0,677 * 8 * 1 * 1 = 11861 \text{ ч.}$$

Далее найдем число циклов перемены напряжений за весь срок службы для каждого колеса и вала-шестерни:

$$N_1 = 573 * 11861 * 16,28 = 110644627.$$

$$N_2 = 573 * 11861 * 54,2 = 368362333.$$

$$N_3 = 573 * 11861 * 54,2 = 368362333.$$

$$N_4 = 573 * 11861 * 151,77 = 1031482495.$$

Число циклов перемены напряжений соответствующее пределу выносливости N_{H0} является табличной величиной и зависит от $HRC_{\text{ср}}$. Для зубчатого колеса 1 и 3 $N_{H01} = N_{H03} = 87000000$, для вала-шестерни 2 и 4 $N_{H02} = N_{H04} = 129000000$ [5].

Если $N \geq N_{H0}$, то коэффициент долговечности $K_{HL} = 1$ [14].

В нашем случае:

$$N_1 > N_{H01}, \quad (55)$$

$$N_2 > N_{H02}, \quad (56)$$

$$N_3 > N_{H03}, \quad (57)$$

$$N_4 > N_{H04}. \quad (58)$$

Тогда:

$$K_{HL1} = K_{HL2} = K_{HL3} = K_{HL4} = 1.$$

Допускаемое контактное напряжение соответствующее пределу контактной выносливости находится по формуле:

$$[\sigma]_{H0} = 14HRC_{\text{ср}} + 170, \quad (59)$$

Найдем допускаемое контактное напряжение, соответствующее пределу контактной выносливости для каждого зубчатого колеса и вала-шестерни:

$$[\sigma]_{H01} = [\sigma]_{H03} = 14 * 52 + 170 = 898 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma]_{H02} = [\sigma]_{H04} = 14 * 58 + 170 = 982 \text{ МПа.}$$

Теперь необходимо определить допускаемые контактные напряжения для зубьев шестерни по формуле:

$$[\sigma]_H = K_{HL}[\sigma]_{H0}, \quad (60)$$

$$[\sigma]_{H1} = [\sigma]_{H3} = 1 * 898 = 898 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma]_{H2} = [\sigma]_{H4} = 1 * 982 = 982 \text{ МПа.}$$

5.6 Определение допускаемых напряжений изгиба

Определяем коэффициент долговечности по формуле [14]:

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{F0}}{N}}, \quad (61)$$

где $N_{F0} = 4 * 10^6$ – число циклов перемены напряжений для всех сталей, соответствующее пределу выносливости;

N – число циклов перемены напряжений за весь срок службы.

Если $N > N_{F0}$, то принимают $K_{FL} = 1$.

В нашем случае:

$$N_1 > N_{F01},$$

$$N_2 > N_{F02},$$

$$N_3 > N_{F03},$$

$$N_4 > N_{F04}.$$

Найдем допускаемое напряжение изгиба, соответствующее пределу изгибной выносливости для каждого зубчатого колеса и вала-шестерни по формуле:

$$[\sigma]_{F0} = 1,03 \text{HB}_{\text{ср}}, \quad (62)$$

$$[\sigma]_{F01} = [\sigma]_{F03} = 1,03 * 512 = 527,4 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma]_{F04} = [\sigma]_{F04} = 1,03 * 589 = 606,7 \text{ МПа.}$$

Найдем допускаемое напряжение изгиба для зубьев колес и валов-шестерен:

$$[\sigma]_F = K_{FL} [\sigma]_{F0}, \quad (63)$$

$$[\sigma]_{F1} = [\sigma]_{F3} = 1 * 527,4 = 527,4 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma]_{F2} = [\sigma]_{F4} = 1 * 606,7 = 606,7 \text{ МПа.}$$

5.7 Проверочный расчет передачи

Для проверки контактных напряжений воспользуемся формулой:

$$\sigma_H = K \sqrt{\frac{F_t(i+1)}{bd}} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu} \leq [\sigma]_H, \quad (64)$$

где K – вспомогательный коэффициент, принимается 436;

F_t – окружная сила в зацеплении, Н;

i – передаточное число;

b – ширина венца зубчатого колеса, мм;

d – делительный диаметр зубчатого колеса, мм;

$K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, принимается 1;

$K_{H\beta}$ – коэффициент неравномерности нагрузки по длине зуба, принимается 1;

$K_{H\nu}$ – коэффициент динамической нагрузки, принимается 1,1;

Расчёт на контактное напряжение ведут по зубчатым колесам. Данные для зубчатого колеса 1 $d_1 = 517,65$ мм, $b_1 = 110$ мм, для зубчатого колеса 3 $d_3 = 347,86$ мм, $b_3 = 90$ мм

3: Посчитаем контактное напряжение действующее на зубчатое колесо 1 и

$$\sigma_{H1} = 436 * \sqrt{\frac{15601 * (3,33 + 1)}{517,65 * 110}} * 1 * 1 * 1,1 = 522,38 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{H3} = 436 * \sqrt{\frac{7336 * (2,8 + 1)}{347,86 * 90}} * 1 * 1 * 1,1 = 452,56 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{H1} < [\sigma]_{H1},$$

$$\sigma_{H3} < [\sigma]_{H3}.$$

Условия выполняются.

Для проверки напряжения изгиба зубьев зубчатых колес воспользуемся формулой:

$$\sigma_{F1} = Y_{F1} Y_{\beta} \frac{F_{t1}}{b_1 m_1} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} \leq [\sigma]_{F1}, \quad (65)$$

$$\sigma_{F3} = Y_{F3} Y_{\beta} \frac{F_{t3}}{b_3 m_3} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} \leq [\sigma]_{F3}, \quad (66)$$

Для проверки напряжения изгиба зубьев валов-шестерен воспользуемся формулой:

$$\sigma_{F2} = \frac{\sigma_{F1} Y_{F2}}{Y_{F1}} \leq [\sigma]_{F2}, \quad (67)$$

$$\sigma_{F4} = \frac{\sigma_{F3} Y_{F4}}{Y_{F3}} \leq [\sigma]_{F4}. \quad (68)$$

где m – модуль зацепления;

Y_{F1}, Y_{F3} – коэффициент формы зуба зубчатого колеса, принимается 2,1;

Y_{F2}, Y_{F4} – коэффициент формы зуба вала-шестерни, принимается 4,29;

Y_{β} – коэффициент, учитывающий наклон зуба, принимается 1;

$K_{F\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, принимается 1;

$K_{F\beta}$ – коэффициент неравномерности нагрузки по длине зуба, принимается 1;

K_{Fv} – коэффициент динамической нагрузки, принимается 1,1.

Для зубчатого колеса 1 и вала-шестерни 2 модуль зацепления $m=10,353$, для зубчатого колеса 3 и вала-шестерни 4 модуль зацепления $m=8,82$. Посчитаем напряжение изгиба:

$$\sigma_{F1} = 2,1 * 1 * \frac{15601}{110 * 10,353} * 1 * 1 * 1,1 = 31,65 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F2} = \frac{31,65 * 4,29}{2,1} = 64,66 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F3} = 2,1 * 1 * \frac{7336}{90 * 8,282} * 1 * 1 * 1,1 = 22,73 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F4} = \frac{22,73 * 4,29}{2,1} = 46,43 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F1} < [\sigma]_{F1},$$

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

$$\sigma_{F2} < [\sigma]_{F2},$$

$$\sigma_{F3} < [\sigma]_{F3},$$

$$\sigma_{F4} < [\sigma]_{F4}.$$

Условия соблюдаются.

5.8 Расчет подшипников

Для подбора подшипников и дальнейших расчетов нам необходимо вычислить реакцию в опорах подшипников. На рисунке 5.5 предоставлена расчетная схема действующих на вал сил



Рисунок 5.5 – Расчетная схема действующих на вал сил

На этой схеме $L=2,19$ м, $L_1 = 0,78$, $L_2 = 0,71$, $c_1 = 0$ м, $c_2 = 1,86$ м

Найдем силу F_1 действующую на аксиальный валок во время раскатки по формуле:

$$F_1 = P_p^{акс} * \cos 17,5^\circ, \quad (69)$$

$$F_1 = 53120 * \cos 17,5^\circ = 50661 \text{ Н} = 50,66 \text{ кН}$$

Момент M_1 равен моменту прокатки:

$$M_1 = M_{пр}, \quad (70)$$

$$M_1 = 12,54 \text{ кН} * \text{м}.$$

Сила F_2 равна радиальной силе зубчатого колеса 1:

$$F_2 = F_{r1}, \quad (71)$$

$$F_2 = 5,68 \text{ кН}.$$

Момент M_1 равен моменту зубчатого колеса 4,038 кН*м.

Найдем реакции опор, возникающие в подшипниковых опорах. Сумма моментов всех сил относительно точки В должна равняться нулю:

$$\sum M^B = -R_A(L - L_1 - L_2) + \sum \frac{q_i(b_i - a_i)(2L - 2L_2 - a_i - b_i)}{2} + \sum F_i(L - L_2 - c_i) - \sum M_i, \quad (72)$$

$$\sum M^B = -R_A(L - L_1 - L_2) + F_1(L - L_2 - c_1) + F_2(L - L_2 - c_2) - M_1 - M_2, \quad (73)$$

$$\sum M^B = -R_A(2,19 - 0,78 - 0,71) - 50,66 * (2,19 - 0,71 - 0) + 5,68 * (2,19 - 0,71 - 1,86) - 12,54 - 4,038 = 0.$$

$$R_A = -133,876 \text{ кН}.$$

Сумма моментов всех сил относительно точки А должна равняться нулю:

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

$$\sum M^A = R_B(L - L_1 - L_2) - \sum \frac{q_i(b_i - a_i)(a_i + b_i - 2L_1)}{2} - \sum F_i(c_i - L_1) - \sum M_i, \quad (74)$$

$$\sum M^A = R_B(L - L_1 - L_2) - F_1(c_1 - L_1) - F_2(c_2 - L_1) - M_1 - M_2, \quad (75)$$

$$\sum M^A = R_B * (2,19 - 0,78 - 0,71) + 50,66 * (0 - 0,78) - 5,68 * (1,86 - 0,78) - 12,54 - 4,038.$$

$$R_B = 88,896 \text{ кН.}$$

Для проверки вычислим сумму проекций всех сил на вертикальную ось:

$$\sum Y = R_A + R_B - \sum q_i(b_i - a_i) - \sum F_i, \quad (76)$$

$$\sum Y = R_A + R_B - F_1 - F_2, \quad (77)$$

$$\sum Y = -133,876 + 88,896 + 50,66 - 5,68 = 0.$$

Сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю. Расчеты выполнены верно.

Поперечная сила Q в сечении с координатой z равна сумме проекций всех сил, расположенных слева от сечения, на вертикальную ось:

$$Q(z) = R_A H(z - L_1) + R_B H(z - L + L_2) - \sum q_i(z - a_i) H(z - a_i) + \sum q_i(z - b_i) H(z - b_i) - \sum F_i H(z - c_i), \quad (78)$$

Изгибающий момент M(z) равен сумме моментов всех сил, расположенных слева от сечения:

$$M(z) = R_A(z - L_1) H(z - L_1) + R_B(z - L + L_2) H(z - L + L_2) - \sum \frac{q_i(z - a_i)^2 H(z - a_i)}{2} + \sum \frac{q_i(z - b_i)^2 H(z - b_i)}{2} - \sum F_i(z - c_i) H(z - c_i) + \sum M_i H(z - d_i), \quad (79)$$

Составим аналитические выражения Q(z) и M(z) для каждого участка и вычислим их значения в характерных точках.

Участок I ($0 \leq z \leq 0,78$):

$$Q_I(z) = -F_1 = 50,66 \text{ кН.}$$

$$Q_I(0) = Q_I(0,78) = 50,66 \text{ кН.}$$

$$M_I(z) = -F_1(z - c_1) + M_1 = 50,66z + 12,54.$$

$$M_I(0) = 50,66 * 0 + 12,54 = 12,54 \text{ кНм.}$$

$$M_I(0,78) = 50,66 * 0,78 + 12,54 = 52,0548 \text{ кНм.}$$

Участок II ($0,78 \leq z \leq 1,48$):

$$Q_{II}(z) = R_A - F_1 = -133,876 + 50,66 = -83,216 \text{ кН.}$$

$$Q_{II}(0,78) = Q_{II}(1,48) = -83,216 \text{ кН.}$$

$$M_{II}(z) = R_A(z - L_1) - F_1(z - c_1) + M_1 = -83,216z + 116,963.$$

$$M_{II}(0,78) = -83,216 * 0,78 + 116,963 = 52,0548 \text{ кНм.}$$

$$M_{II}(1,48) = -83,216 * 1,48 + 116,963 = 6,1964 \text{ кНм.}$$

Участок III ($1,48 \leq z \leq 1,86$):

$$Q_{III}(z) = R_A + R_B - F_1 = -133,876 + 88,896 + 50,66 = 5,68 \text{ кН.}$$

$$Q_{III}(1,48) = Q_{III}(1,86) = 5,68 \text{ кН.}$$

$$M_{III}(z) = R_A(z - L_1) + R_B(z - L + L_2) - F_1(z - c_1) + M_1 = 5,68z - 14,6028.$$

					ЮУрГУ-22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$M_{III}(1,48) = 5,68 \cdot 1,48 - 14,6028 = 6,1964 \text{ кНм.}$$

$$M_{III}(1,86) = 5,68 \cdot 1,86 - 14,6028 = -4,038 \text{ кНм.}$$

Участок IV ($1,86 \leq z \leq 2,19$):

$$Q_{IV}(z) = R_A + R_B - F_1 - F_2 = -133,876 + 88,896 + 50,66 - 5,68 = 0 \text{ кН}$$

$$Q_{IV}(1,86) = Q_{IV}(2,19) = 0 \text{ кН.}$$

$$M_{IV}(z) = R_A(z - L_1) + R_B(z - L + L_2) - F_1(z - c_1) - F_2(z - c_2) + M_1 + M_2 = 0.$$

$$M_{IV}(1,86) = M_{IV}(2,19) = 0 \text{ кНм.}$$

На рисунке 5.6 изображена расчетная схема с эпюрой поперечной силы.

Пригодность подшипников определяется сопоставлением расчетной динамической грузоподъемности C_{rp} , Н с базовой C_r , Н по формуле [14]:

$$C_{rp} \leq C_r, \quad (80)$$

Базовая динамическая грузоподъемность C_r представляет собой постоянную радиальную нагрузку, которую подшипник может воспринять при базовой долговечности, составляющей 10^6 оборотов внутреннего кольца. Для аксиального валка конструктивно были выбраны подшипники радиальные роликовые многорядные с короткими цилиндрическими роликами по ГОСТ 7634-75. Для точки А был выбран подшипник 4262960, для точки В был выбран подшипник 4262952. Их базовую динамическую грузоподъемность C_r определим по ГОСТ 7634-75 [20].

$$C_{rA} = 1040000 \text{ Н.}$$

$$C_{rB} = 750000 \text{ Н.}$$

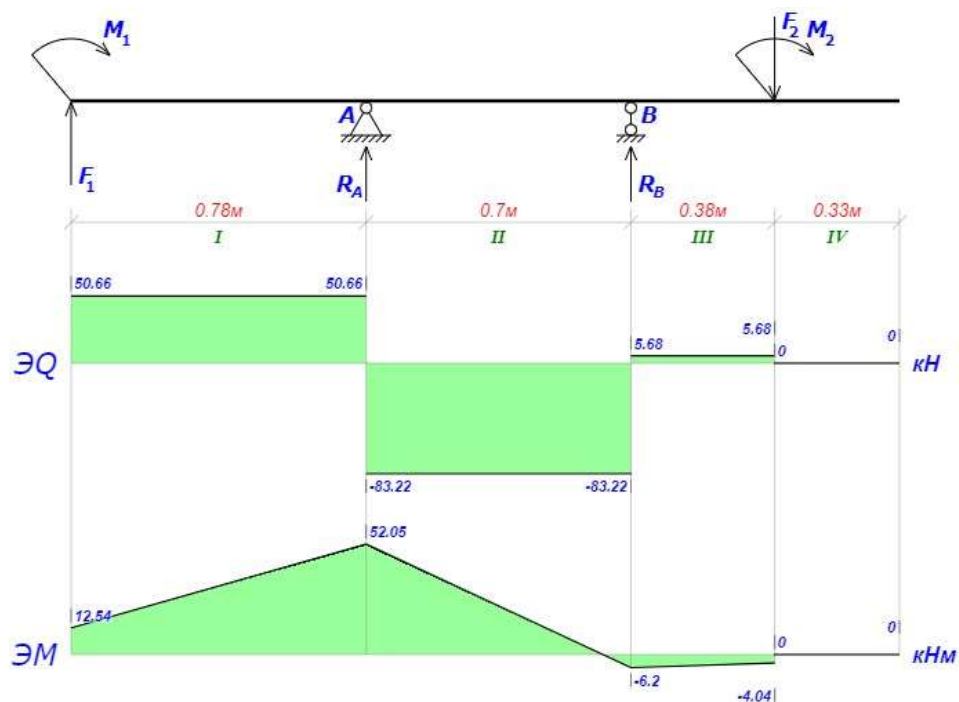


Рисунок 5.6 - расчетная схема с эпюрой поперечной силы
Расчетная динамическая грузоподъемность определяется по формуле:

$$C_{rp} = R_e \sqrt[m]{573 \omega \frac{Lh}{10^6}}, \quad (81)$$

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

где R_e – эквивалентная динамическая нагрузка, Н;
 m – показатель степени, для роликовых подшипников принимается 3,33;
 ω – угловая скорость вала, принимается $16,28 \text{ с}^{-1}$;
 L_h – требуемая долговечность, для роликовых подшипников принимается 10000 ч.

Эквивалентная динамическая нагрузка определяется по формуле:

$$R_e = VR_r K_B K_T, \quad (82)$$

где V – коэффициент вращения, принимается 1;
 R_r – радиальная нагрузка на подшипник;
 K_B – коэффициент безопасности, принимается 1,05;
 K_T – температурный коэффициент, принимается 1.

Найдем эквивалентную динамическую нагрузку в точка А и В:

$$R_{eA} = 1 * 133876 * 1,05 * 1 = 140570 \text{ Н.}$$

$$R_{eB} = 1 * 88896 * 1,05 * 1 = 93341 \text{ Н.}$$

Определим расчетную динамическую грузоподъемность в точках А и В:

$$C_{rpA} = 140570 \sqrt[3,33]{573 * 16,28 * \frac{10000}{10^6}} = 548069 \text{ Н.}$$

$$C_{rpB} = 93341 \sqrt[3,33]{573 * 16,28 * \frac{10000}{10^6}} = 363928 \text{ Н.}$$

$$C_{rpA} < C_{rA},$$

$$C_{rpB} < C_{rB}.$$

Условие соблюдается, подшипники выбраны правильно.

Найдем базовую долговечность подшипников по формуле:

$$L_{hp} = \frac{10^6}{573\omega} \left(\frac{C_r}{R_e}\right)^m, \quad (83)$$

$$L_{hpA} = \frac{10^6}{573 * 16,28} * \left(\frac{1040000}{140570}\right)^{3,33} = 84029 \text{ ч.}$$

$$L_{hpB} = \frac{10^6}{573 * 16,28} * \left(\frac{750000}{93341}\right)^{3,33} = 110612 \text{ ч.}$$

6 ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА АКСИАЛЬНОГО ВАЛКА

Современное производство невозможно представить без специализированных CAE, CAD программ которые значительно упрощают работу. В данной работе рассмотрен функционал программы SOLIDWORKS Simulation — это полнофункциональное решение для инженерных расчетов и анализа изделий, полностью интегрированное в рабочую среду SOLIDWORKS. Оно помогает предприятиям быстрее выводить продукцию на рынок, экономить средства и поддерживать высокое качество изделий. С SOLIDWORKS Simulation могут работать не только специалисты по расчетам и анализу, но и инженеры из конструкторских отделов.

SOLIDWORKS Simulation использует анализ методом конечных элементов (МКЭ) для виртуального тестирования CAD-моделей и прогнозирования поведения изделий в реальной эксплуатации. С помощью этого решения можно проводить линейный статический, нелинейный статический и динамический анализ. Оно поставляется в трех комплектациях: Simulation Standard, Simulation Professional и Simulation Premium. Каждая комплектация более высокого уровня содержит удобные в использовании дополнительные функции, которые расширяют круг решаемых задач [15].

Для проверки узла аксиального вала, требуется нагрузить его до рабочей нагрузки 58,12 кН. Узел, для нагружения состоит из аксиального валка, втулки и гильзы. Остальные конструктивные элементы для нагружения не использовались, т.к. слабо влияют, либо не влияют на итоговый результат.

Аксиальный валок прошел испытание на деформацию, перемещение и напряжение. На рисунке 6.1 показана схема нагружения аксиального валка. Зелёными стрелками показана жесткая фиксация валка. Синие стрелки – подшипниковые опоры, розовые стрелки – усилие, действующее на аксиальный валок.

Валок, гильза и втулка изготовлены из инструментальной стали 5ХНМ.

На рисунке 6.2 предоставлен результат исследования испытания на деформацию.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

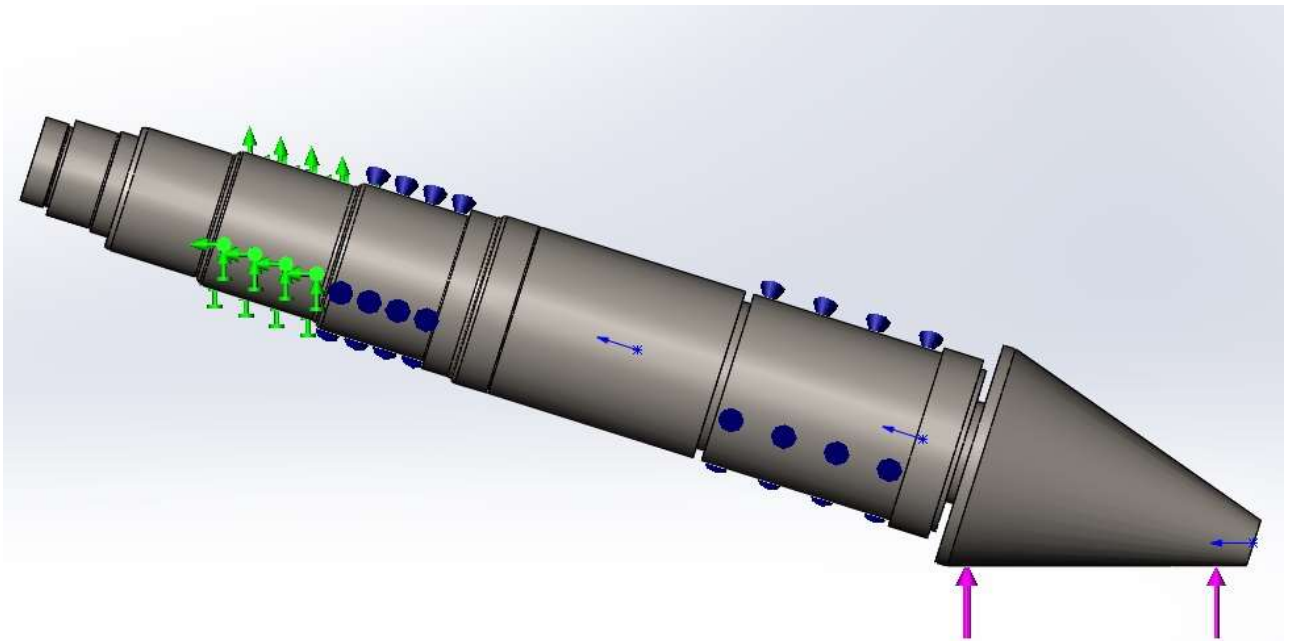


Рисунок 6.1 – Схема нагружения узла аксиального валка

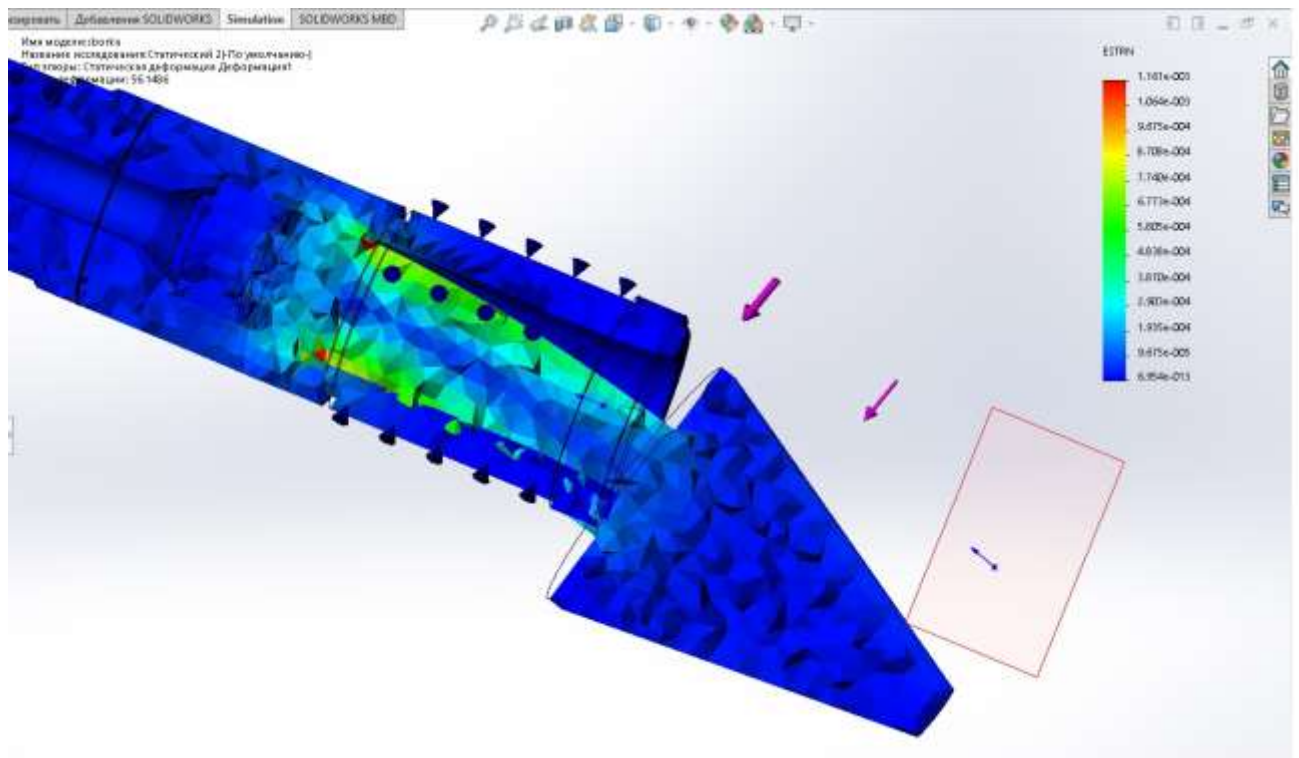


Рисунок 6.2 – Результат исследования испытания на деформацию

Как видно по результатам испытания, максимальная деформация осуществляется на шейке валка, перед креплением шестигранной втулки. Деформация, полученная в результате нагружения, является не критичной для данного случая.

На рисунке 6.3 предоставлен результат исследования испытания на перемещение.

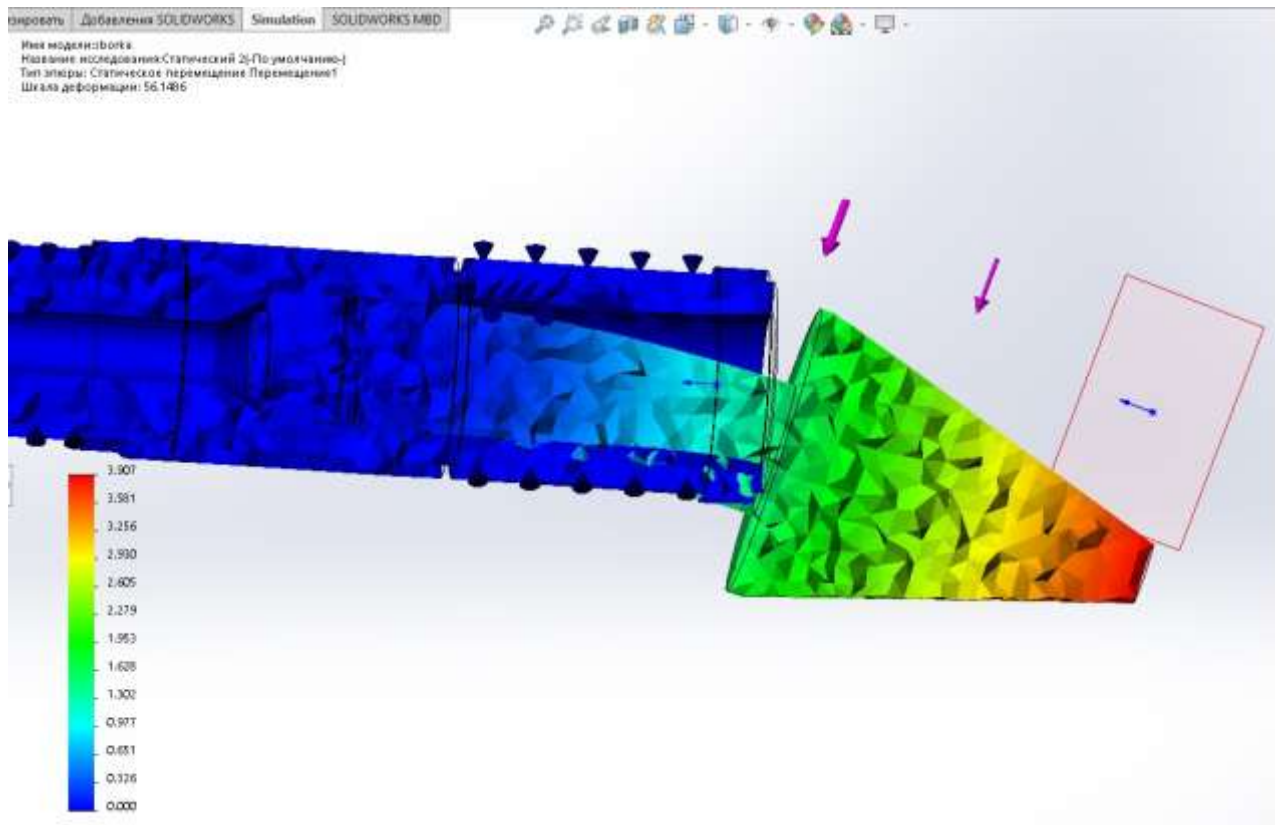


Рисунок 6.3 – Результат исследования испытания на перемещение

Как видно по результатам испытания, максимальное перемещение достигает 3,907 мм на конце вала. Перемещение в районе гильзы у аксиального вала составляет 1-1,3 мм, что не критично, т.к. зазор, предусмотренный конструкторами составляет по 5 мм на сторону.

На рисунке 6.4 показан результат исследования испытания на напряжение. При нагружении образца происходит подсчет эквивалентных напряжений $[\sigma_{\text{ЭКВ}}]$. Предел текучести стали 5ХНМ в нашем сечении составляет $[\sigma]_m = 1420 \text{ МПа}$ [2]. По результатам испытания на напряжение, мы видим, что максимальный предел текучести составляет $[\sigma_{\text{ЭКВ}}]$ 310,92 МПа. Аксиальный валок выдержит нагрузку, возникающую при осевом обжатии раскатки колец, так как условие $[\sigma_{\text{ЭКВ}}] < [\sigma]_m$ выполняется.

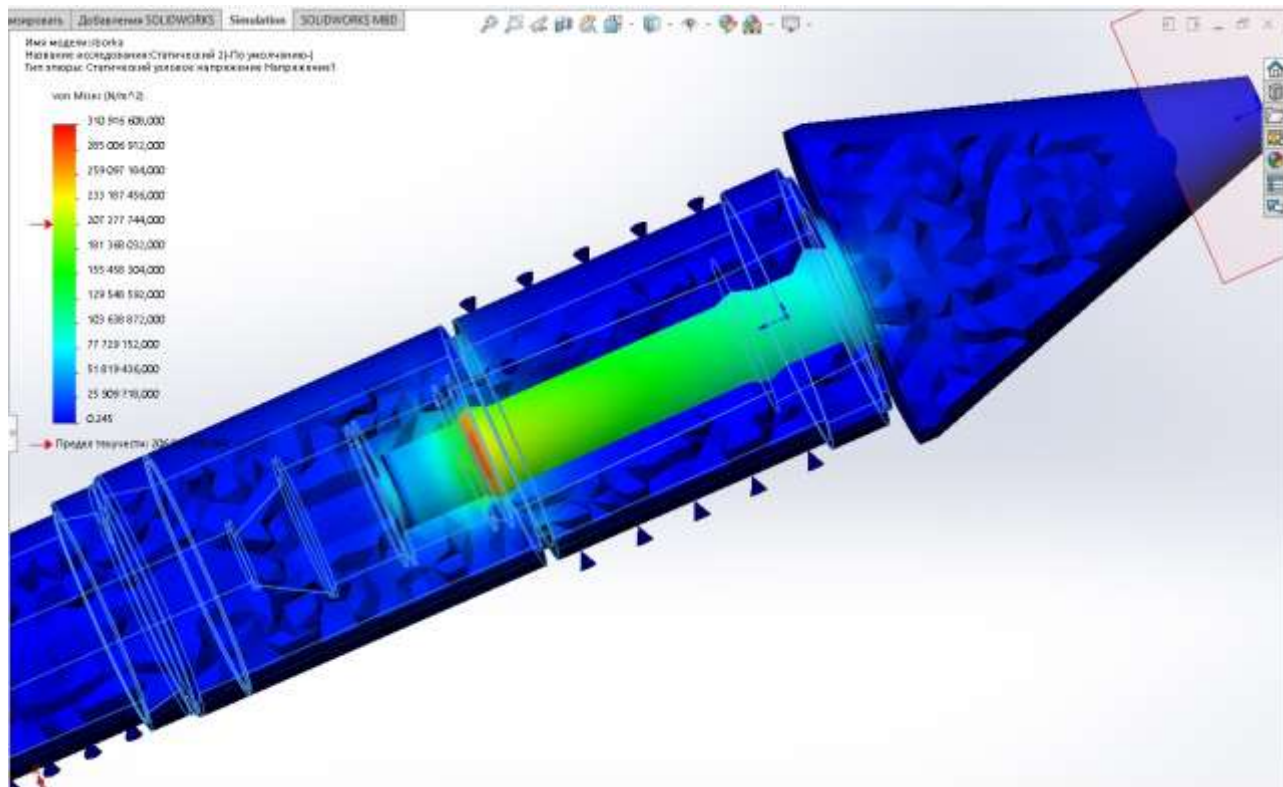


Рисунок 6.4 – Результат исследования испытания на напряжение

По результатам исследования испытаний видно, что аксиальный валок выдержит приложенные к нему нагрузки и успешно осуществить процесс раскатки.

7 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ БАНДАЖА ПОВИЖНОГО СОСТАВА ТРАМВАЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

К настоящему времени разработан ряд программных средств для моделирования процесса пластического деформирования. Использование этих средств может быть полезным при определении основных параметров кольце-раскатки и особенно при профилировании колес со сложным профилем сечения.

В настоящее время для моделирования процесса раскатки применяются следующие программные средства: QForm, DEFORM, RingRoSi, CARWIN, ROLLTECH и МАСТЕР ПРОКАТКИ.

QForm – это российская программа для расчета больших пластических деформаций, получившая широкое распространение на отечественных и зарубежных предприятиях заготовительного и металлургического производства. Специализирована для отладки оснастки и технологических процессов обработки металлов давлением, штамповки,ковки, раскатки колец, прокатки и прессования алюминиевых профилей [16].

QForm позволяет оптимизировать такие технологические процессы обработки металлов давлением, как ковка, штамповка, прокатка, прессование. В программный продукт QForm входят различные модули. QForm-3D - модуль, предназначенный для моделирования трехмерных процессов обработки и QForm-2D — модуль, предназначенный для моделирования двумерных процессов обработки металлов давлением.

Модуль QForm-3D предлагается для анализа трехмерного (3D) поведения металла при различных процессах обработки давлением. Эта программа дает информацию о течении материала в штампе и распределении температур во время процесса деформирования и позволяет моделировать такие процессы, как ковка, горячая, полугорячая и холодная штамповка, прессование, прокатка, вытяжка и многие другие. Программа QForm-3D использует метод конечных элементов и позволяет решать задачи деформирования и теплопередачи.

В пакете модулей QForm имеется программа Ring Rolling 3D - модуль для моделирования процессов раскатки колец, который может работать как отдельный модуль, так и как приложение к модулю QForm-3D. Алгоритмы этого модуля предназначены для оптимизации процесса раскатки колец. Генератор сеток модуля строит сетку из восьмиузловых гексаэдров и при необходимости может автоматически перестраивать ее. В течении процесса раскатки имеется возможность визуально получать информацию об изменениях параметров кольца [1].

Для запуска расчета процесса раскатки в программу QForm были заданы исходные данные, которые включали в себя: материал заготовки и температуру, привода рабочих инструментов, а также их смазку, температуру и материал.

Материал заготовки – сталь 65Г, на рисунке 7.1 показан график сопротивления деформации от параметров деформации.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

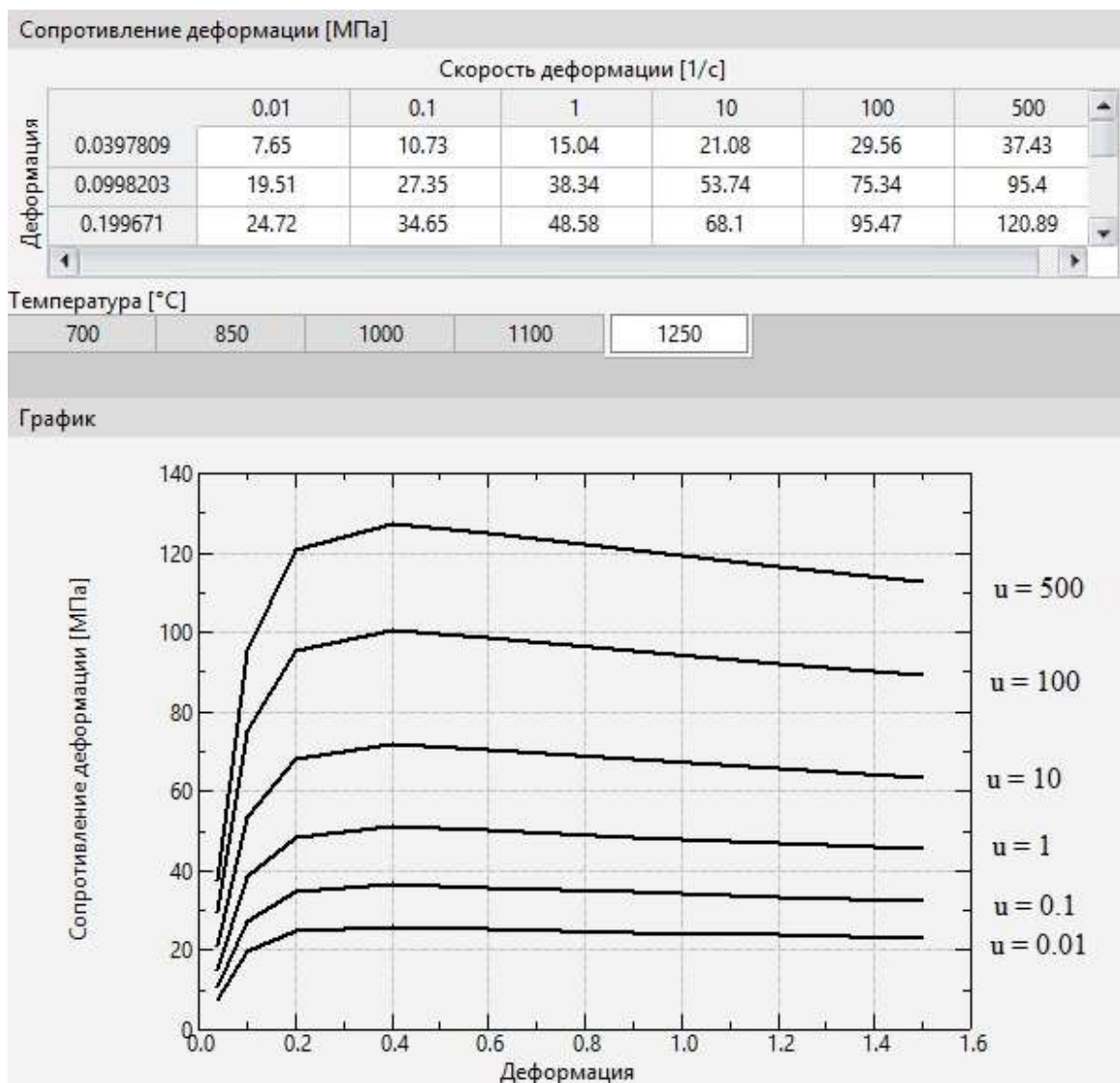


Рисунок 7.1 – График сопротивления деформации от параметров деформации

Трение для инструмента выбрано по закону Зибеля. На рисунке 7.2 показаны параметры трения для рабочего инструмента.

Закон трения

Зибель

Фактор трения

Постоянная величина 0.9

Кэффициент теплопередачи

5000 Вт/м²К

Кэффициент паузы

0.05

Рисунок 7.2 – Параметры трения рабочего инструмента

На рисунке 7.3 показаны параметры расчеты в программном обеспечении QForm.

Система	
Ручное позиционирование	<input type="checkbox"/>
Минимальное число записей	
Заготовка	
Сохранение объема	<input checked="" type="checkbox"/>
Кэф. преобразования работы деф-ции в тепло	0.95
Кэф. преобразования работы трения в тепло	0.95
Минимальный процент свободной поверхности [%]	1
Вращательное движение	<input type="checkbox"/>
Расчет с двумя сетками	<input type="checkbox"/>
Макс. кол-во шагов между разбиениями	20
Многошаговый сдвиг	
Метод интегрирования	
Явный	<input checked="" type="radio"/>
Неявный	<input type="radio"/>
Шаг расчета	
Макс. приращение деформации	0.1
Макс. приращение времени [с]	0.5
Постоянный шаг по времени (деформация) [с]	
Постоянный шаг по времени (тепловой) [с]	
Итерации	
Норма скоростей	0.03
Норма напряжений	0.3
Макс. число итераций	100
Продолжать расчет при отсутствии сходимости	<input checked="" type="checkbox"/>
Адаптация сетки в заготовке	
Множитель адаптации	1
Минимальная адаптация	1
Предельная адаптация	15
Кэф. разгонки	1.5
Адаптация по скорости	<input type="checkbox"/>
Адаптация по деформации	<input type="checkbox"/>
Адаптация по температуре	<input type="checkbox"/>
Минимальный размер элемента [мм]	

Рисунок 7.3 - Параметры расчета в QForm

На рисунке 7.4 показана заготовка под раскатку и расположение рабочего инструмента.

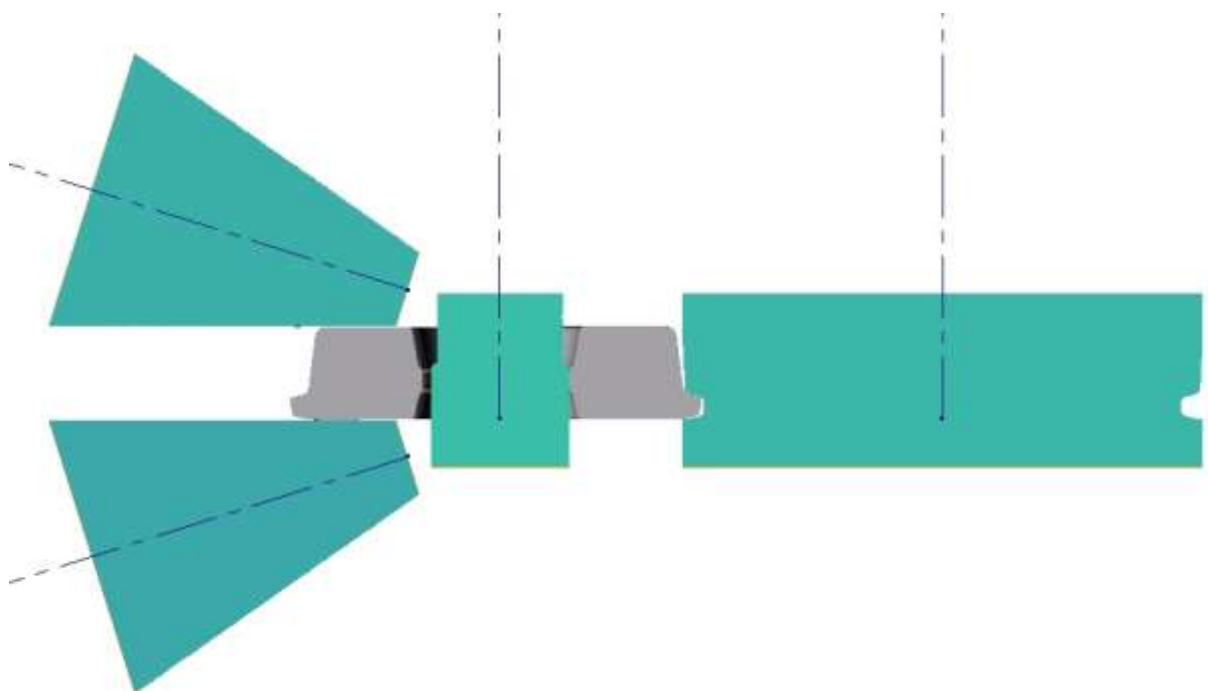


Рисунок 7.4 – Расположение рабочего инструмента и заготовки в начале процесса раскатки

Температура начала процесса раскатки для стали 65Г составляла 1200°C. На рисунке 7.5 показано распределение температуры в начале процесса.

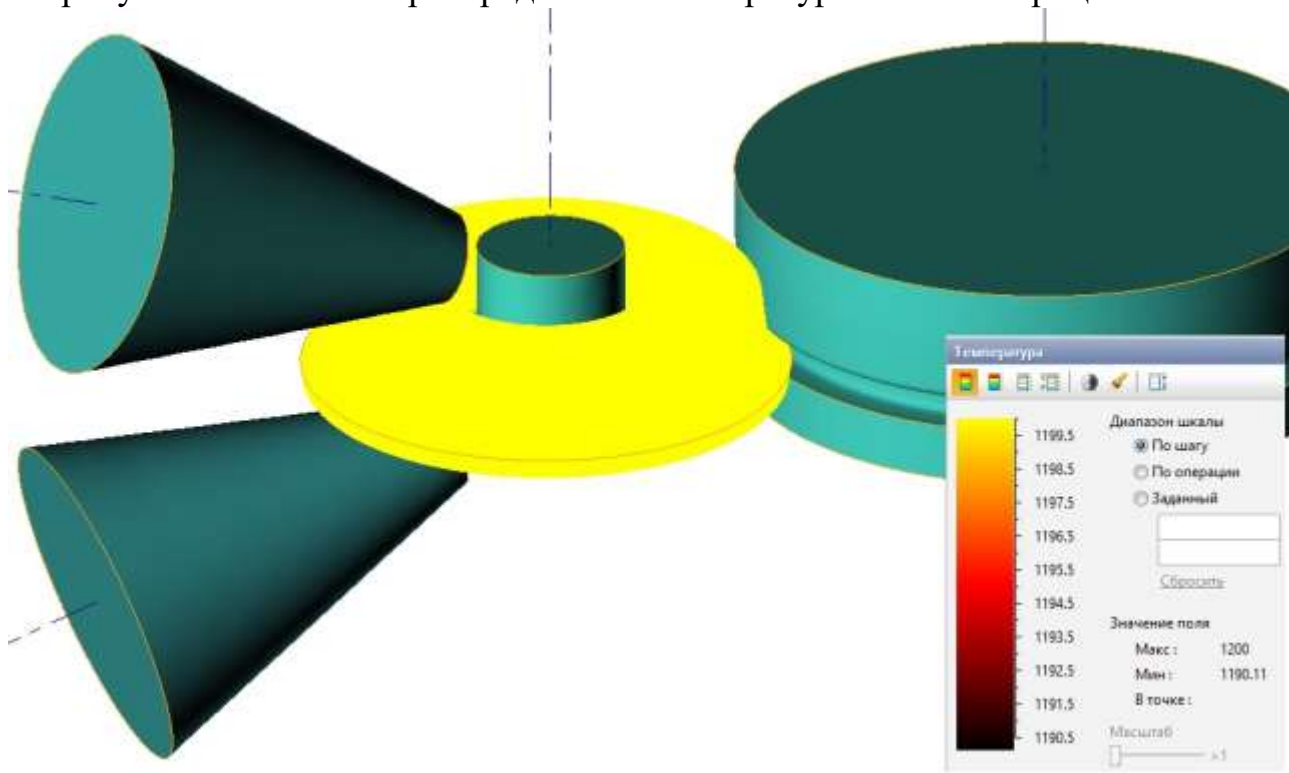


Рисунок 7.5 – Распределение температуры в начале процесса раскатки

На рисунке 7.6 показано распределение температуры в середине процесса раскатки. По рисунку видно, что минимальная температура заготовки в середине процесса составляет 1125 °С.

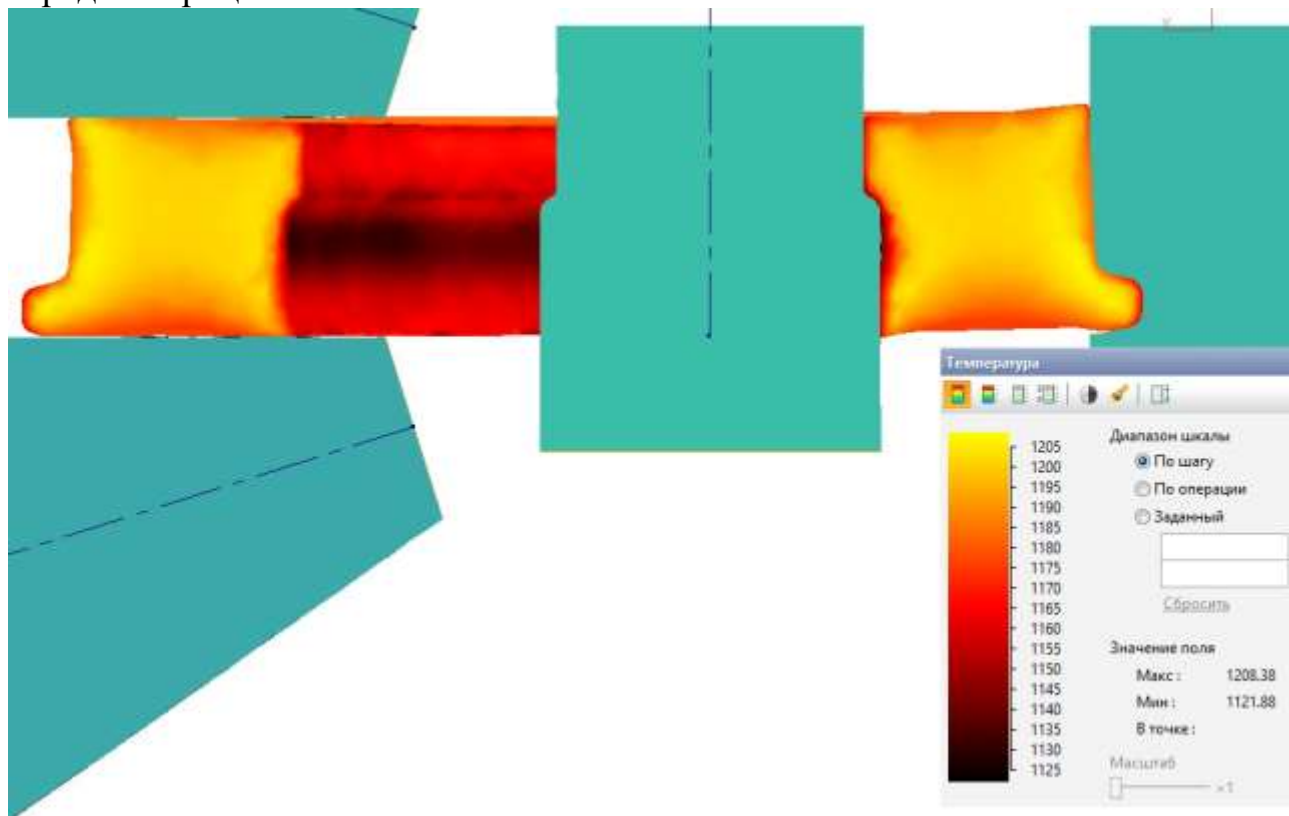


Рисунок 7.6 - Распределение температуры в середине процесса раскатки

На рисунке 7.7 показано распределение температуры в конце процесса раскатки. По рисунку видно, что минимальная температура заготовки в середине процесса составляет 1049,3 °С.

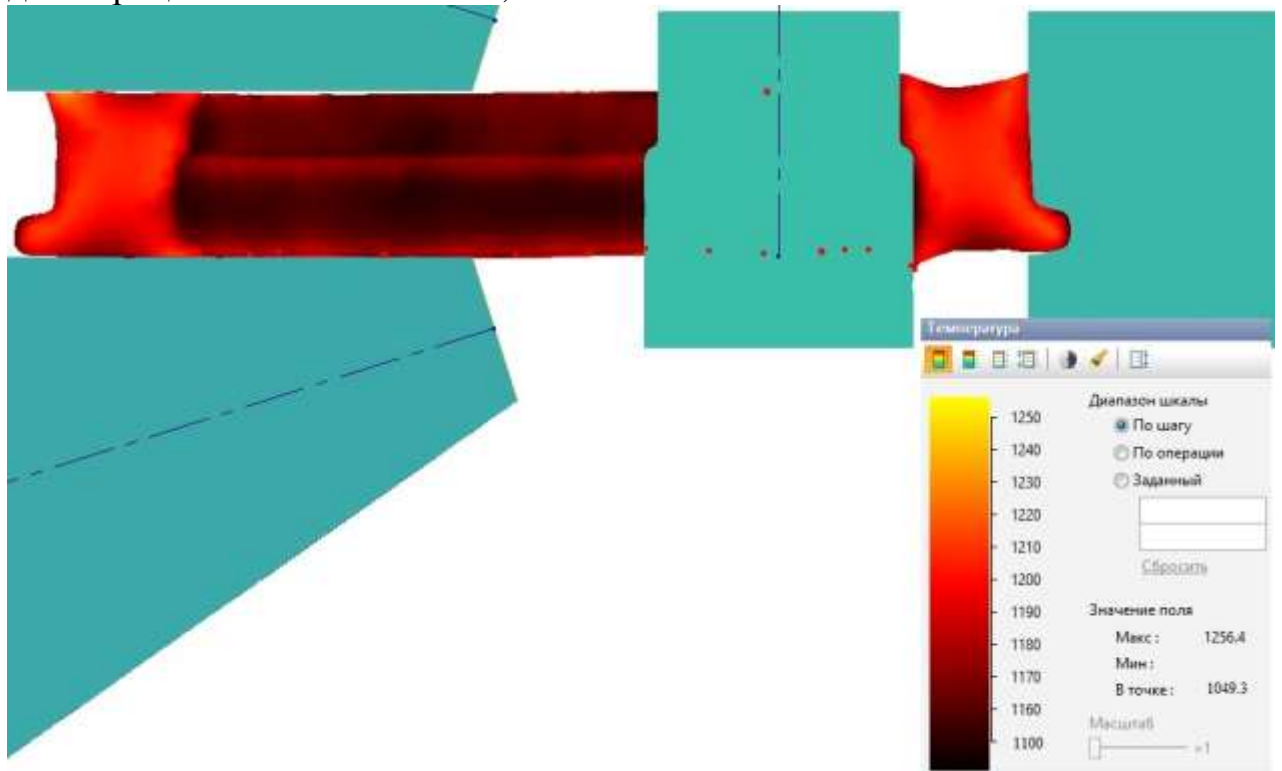


Рисунок 7.7 - Распределение температуры в конце процесса раскатки

Температура конца раскатки должна быть не ниже 900°С, по результатам исследований видно, что температура заготовки в процессе раскатки в необходимых температурных пределах.

Так же в программном обеспечении QForm можно просмотреть интенсивность напряжений в Мпа, в начале, середине и конце процесса. В начале процесса раскатки интенсивность напряжений отсутствует т.к. не происходят незначительные обжатия заготовки. На рисунке 7.8 показана интенсивность напряжений в середине процесса раскатки, а на рисунке 7.9 в конце процесса раскатки.

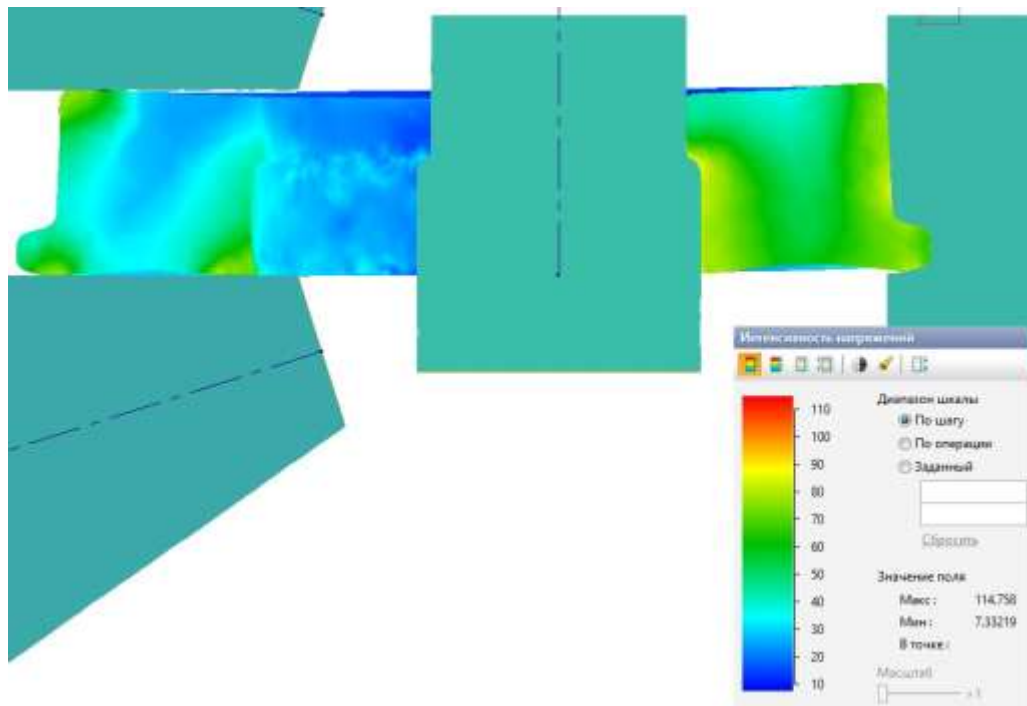


Рисунок 7.8 – Интенсивность напряжений заготовки в середине процесса раскатки

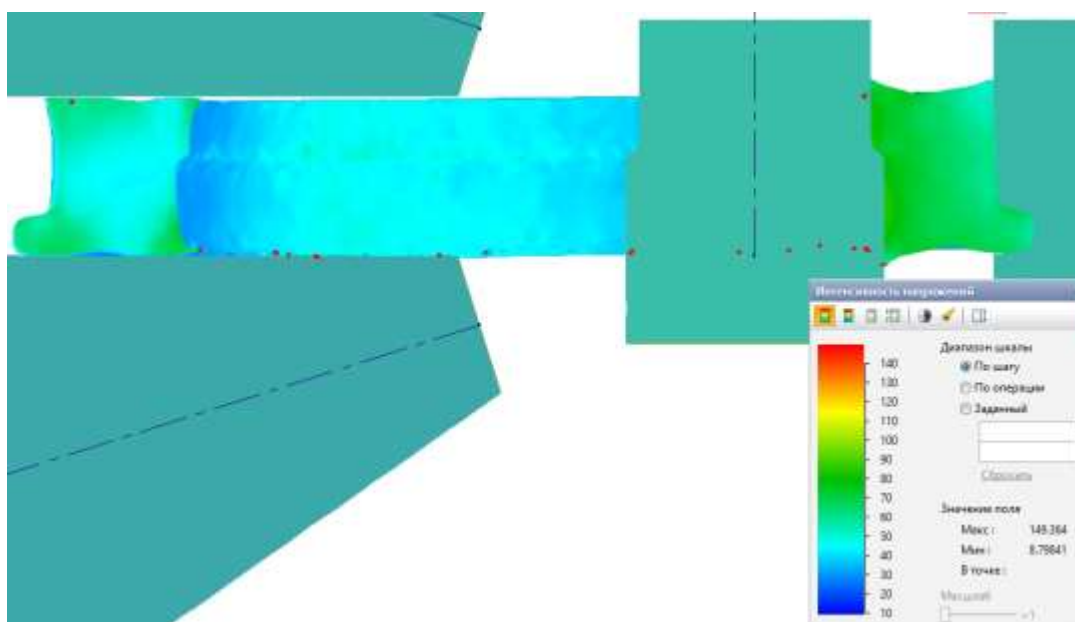


Рисунок 7.9 – Интенсивность напряжений заготовки в конце процесса раскатки

На рисунке 7.10 показана интенсивность напряжений заготовки в очаге деформации с аксиальными валками.

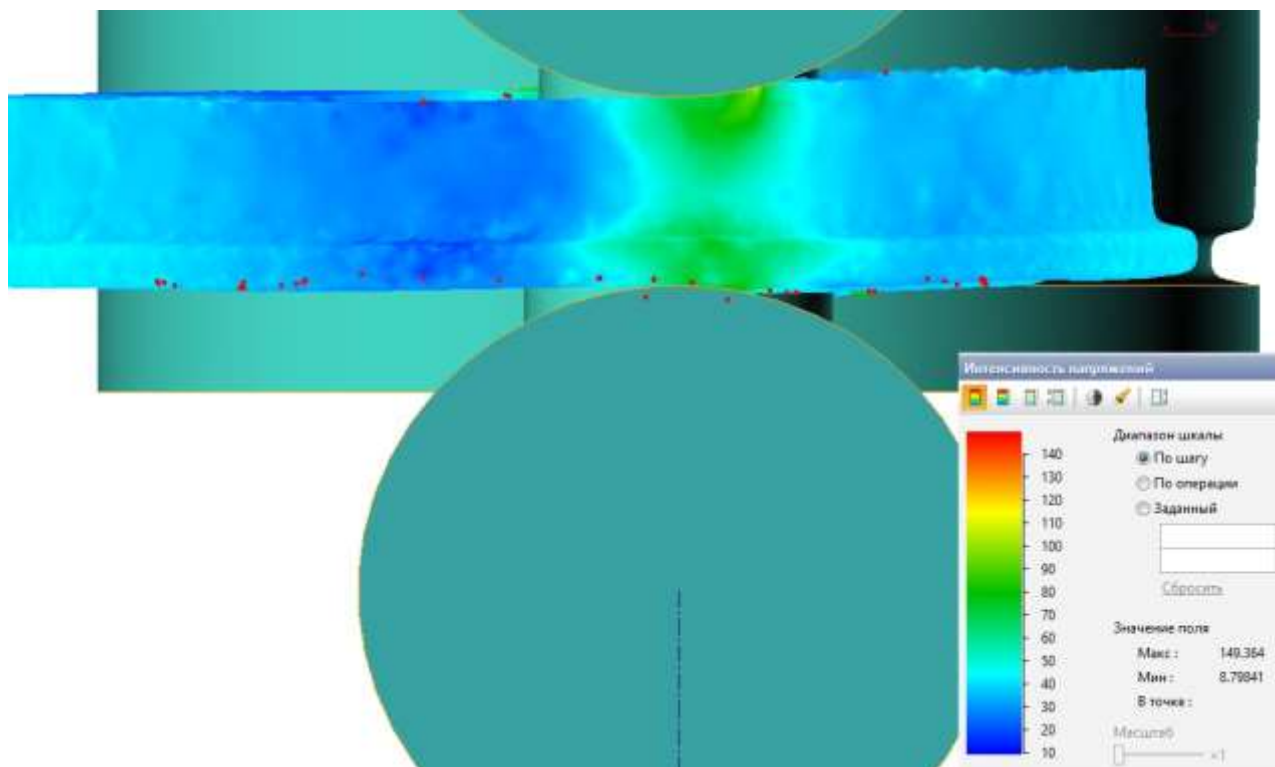


Рисунок 7.10 – Интенсивность напряжений заготовки в контакте с аксиальными валками в конце процесса раскатки

По результатам исследований видно, что максимальная интенсивность напряжений возникает в очаге деформации соприкосновения заготовки с дорновым валком и с главным валом, а также в очаге деформации с нижним и верхним аксиальным валком. Максимальная интенсивность напряжений составила 149,36 МПа, что удовлетворяет нашим условиям подтверждает правильность расчетов.

8 ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАШИНЫ И АГРЕГАТОВ

Основные сборочные единицы разработанного кольцераскатного стана показаны на чертеже ЮУрГУ-22.04.02.2019.176.01.00.00ВО: электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением главного вала 1, муфты 2, 10, 13, редуктор цилиндро-конический 3, окалиноприемник 4, подъемное и спусковое устройство дорнового вала 5, узел главного вала 6, узел дорнового вала 7, радиальные салазки 8, узел верхнего аксиального валка 9, электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением аксиальных валков 11 и 14, узел нижнего аксиального валка 12, аксиальные салазки 15, узел центрующих роликов 16, гидроцилиндр подъема и опускания рамы радиального узла 17, гидроцилиндры центрующих роликов 18, гидроцилиндр горизонтального перемещения радиального узла 19, гидроцилиндр вертикального перемещения верхнего аксиального валка 20, вспомогательные гидроцилиндры верхнего аксиального валка 21, гидроцилиндр горизонтального перемещения аксиальных валков 22 и сварной корпус стана 23.

Узел верхнего аксиального валка, показанный на чертеже ЮУрГУ-22.04.02.2019.176.01.09.00СБ, состоит из сборочных единиц, деталей и стандартных изделий. Сборочные единицы включают в себя: корпус узла верхнего аксиального валка 1 и гидроцилиндр 15 для смены аксиального валка.

Детали узла верхнего аксиального валка: гильза 2, крышки 3, 10, 14, 20, 25, 26, крышка упорная 4, кольцо-ограничитель 6, втулки 7, 9, кольца 8, 19, 23, зубчатые колеса 11 и 22, плита 12, задняя крышка 13, гайки штурвальные 16 и 17, валы-шестерни 21 и 27, стакан 24, гайка круглая 40.

К стандартным изделиям относятся подшипники, манжеты, шпонки, шайбы, винты с шестигранной головкой, разрезные кольца. Стандартные изделия унифицированы.

Электродвигатель, через муфту, передает вращающий момент на прямозубую цилиндрическую зубчатую передачу, которая состоит из двух валов-шестерен 27 и 27, и двух зубчатых колёс 22 и 11. Зубчатое колесо 22 посажено на вал-шестерню с помощью шпонки 18. Зубчатое колесо 11 передает вращающий момент на гильзу 2 с помощью шпонки 45. Гильза 2, с помощью шлицевого зацепления (разрез А-А) передает вращающий момент на аксиальный валок, которым производят обжатие раскатываемого кольца по высоте.

Для замены аксиального валка используется гидроцилиндр 15, который поршнем выталкивает штрелель. Штрелель связан с аксиальным валком резьбовым соединением.

Технические характеристики кольцераскатного стана представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Технические характеристики кольцераскатного стана

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Наружный диаметр кольца	мм	300...1400
Аксиальная высота	мм	40...300

					ЮУрГУ-22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Окончание таблицы 8.1

Максимальный вес кольца	кг	630
Радиальное усилие	кН	≤500
Мощность привода главного вала	кВт	145
Номинальное число оборотов привода главного вала	мин ⁻¹	1450
Регулирование числа оборотов привода главного вала	мин ⁻¹	465...1850
Аксиальное усилие	кН	≤400
Номинальное число оборотов привода аксиального валка	мин ⁻¹	1450
Регулирование числа оборотов привода аксиального валка	мин ⁻¹	150...1850
Мощность привода аксиальных валков	кВт	2x75
Скорость раскатки, применительно к главному валу диаметром 600 мм	м/сек	0,4...1,6
Высота раскаточного стола над полом	мм	600
Номинальный диаметр главного вала	мм	600
Максимальный диаметр главного вала	мм	900
Номинальный диаметр дорнового валка	мм	160
Минимальный/максимальный диаметр дорнового валка	мм	140...170
Полезная длина аксиальных валков	мм	440
Угол конуса аксиальных валков	°	35
Перемещение каретки радиальной части	мм	630
Перемещение каретки аксиальной части	мм	1880
Максимальный зазор между аксиальными валками	мм	340
Габаритные размеры стана (Д x Ш x В)	мм	10237x1500x6050
Габаритные размеры фундамента (Д x Ш x В)	мм	15200x4200x3850

Разработанный кольцераскатный стан позволяет получить заготовку бандажа для подвижного состава трамваев, а также производить номенклатуру заводских изделий предприятия ООО “ЧТЗ-Уралтрак”.

9 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОЛЬЦЕРАСКАТКИ

Автоматизация кольцераскатного стана – автоматическое регулирование темпа раскатки и автоматическое управление механизмами стана, возможное при полной механизации прокатного стана. Роль рабочего на автоматизированном стане сводится к наблюдению за исправной работой механизмов автоматического регулирования кольцераскатного стана [17].

Автоматизация кольцераскатных станов способствует увеличению производительности и улучшения качества продукции.

9.1 Автоматизация контроля размеров кольца

На стане существуют проблемы с контролем размеров раскатываемого кольца. Существующая схема автоматического контроля размеров кольца показан на рисунке 9.1.

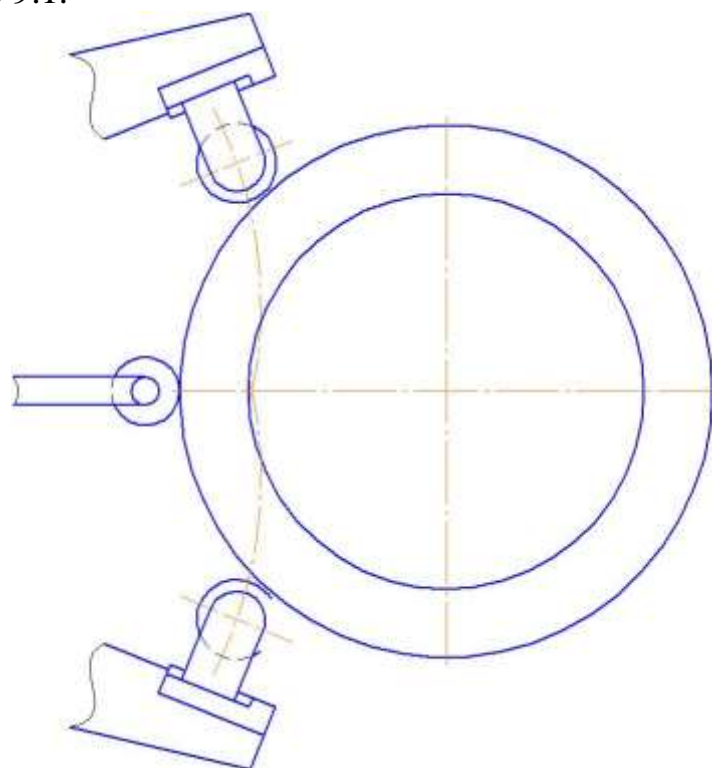


Рисунок 9.1 – Схема контроля раскатываемого кольца

Контроль производится механически по трем точкам контакта роликов (валков) с кольцевой заготовкой. В математическом блоке стана по трем точкам происходит расчет наружного диаметра кольца. Центрующие валки выполняют функцию контроля диаметра заготовки и центрование заготовки. Валки приводятся в движение гидроцилиндрами. Измерительный ролик приводится в движение гидроцилиндром.

Такая схема контроля имеет ряд существенных недостатков:

- Недостаточная точность контроля размеров;
- При многогранном профиле сечения кольца возможны недостоверные замеры;
- Громоздкость и сложность конструкции центрующих валков;

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

- Наличие дополнительных гидроцилиндров;
- Требование обслуживания узлов центрующих валков и измерительного ролика.
- Морально-устаревшее средство контроля.

Предлагается установить бесконтактное лазерное измерительное устройство для контроля наружного диаметра. В этом случае центрующие валки будут выполнять только функцию центровки кольца относительно дорнового валка.

В основе работы лазерного измерительного устройства лежит метод активного обнаружения и определения координат объекта. Сущность его заключается в том, что в процессе работы передающая система лазерного измерительного устройства излучает направленные электромагнитные колебания, которые при отражении от объекта становятся источником информации.

Измерение координат объекта основывается на свойстве световых волн распространяться в однородной среде прямолинейно и с постоянной скоростью. Постоянство скорости и прямолинейность распространения световых волн позволяет по времени прохождения излученного сигнала от лазерного измерительного устройства до объекта и обратно измерить дальность [18].

На рисунке 8.2 показано устройство и принцип работы лазерного измерительного датчика. В основу работы датчика положен принцип оптической триангуляции. Излучение полупроводникового лазера 1 фокусируется объективом 2 на объекте 6. Рассеянное на объекте излучение объективом 3 собирается на CMOS линейке 4. Перемещение объекта 6 – 6' вызывает соответствующее перемещение изображения. Процессор сигналов 5 рассчитывает расстояние до объекта по положению изображения светового пятна на линейке 4.

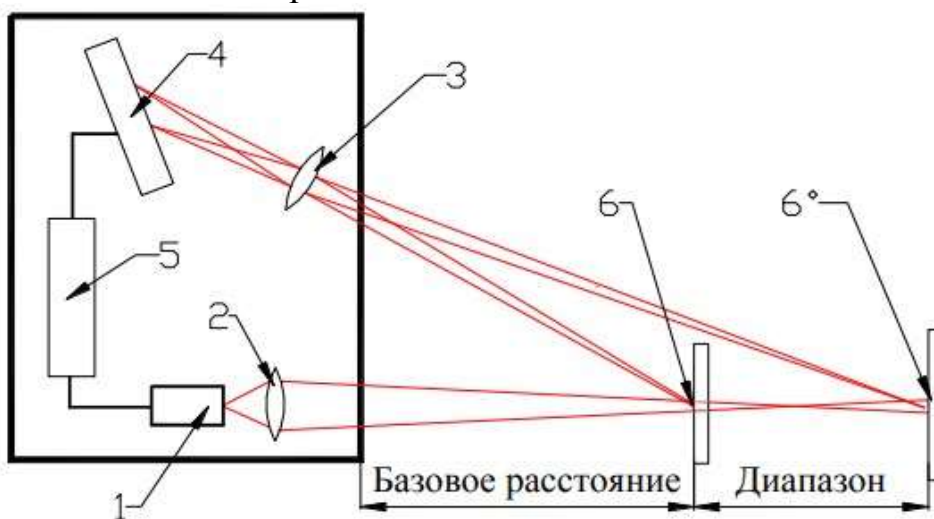


Рисунок 9.2 - Устройство и принцип работы лазерного датчика

На рисунке 9.3 показана схема системы автоматического регулирования контроля размеров раскатываемого кольца 1-го уровня.

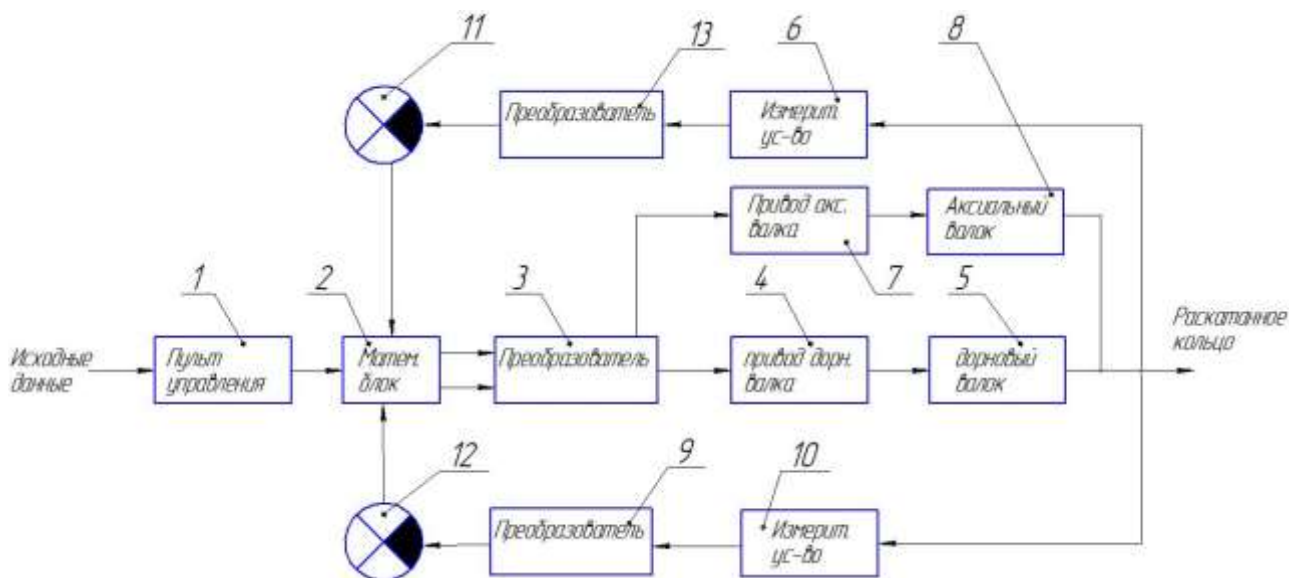


Рисунок 9.3 – Система автоматического регулирования размеров кольца

Исходные данные, такие как марка стали, высота кольца, наружный диаметр, задаются на пульт управления 1, затем в математическом блоке 2 производится расчет необходимых параметров раскатки, затем сигнал подается на преобразователь 3, который контролирует частоту оборотов привода дорнового 4 и аксиального 4 валков, а так же подачу инструмента. В результате этого изменяется частота вращения и подача дорнового валка 5 и аксиального валка 8, что влияет на скорость раскатки и геометрически размеры кольца. В процессе раскатки происходит замер наружного диаметра кольца измерительным устройством 6 и высоты кольца измерительным устройством 10, который передает сигналы в блоки сравнения 11 и 12 через преобразователи 9 и 13. Блоки сравнения сопоставляют полученные результаты с заданными исходными данными, и имеют возможность корректировки параметров раскатки через математический блок 2.

При этой системе автоматического регулирования центрующие валки исполняют только функции центровки кольца относительно оси дорнового валка.

Для проведения замеров кольца выберем триангуляционный лазерный датчик фирмы Riftek серии РФ600, модель РФ600-420/2500.

Триангуляционный лазерный датчик предназначены для бесконтактного измерения и контроля положения, перемещения, размеров, профиля поверхности, деформаций, вибраций, сортировки, распознавания технологических объектов, измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов. Серия включает 13 моделей датчиков с измерительным диапазоном от 10 до 2500 мм и базовым расстоянием от 230 до 1000 мм. Датчики разбиты на три группы. Первая группа включает датчики с увеличенным базовым расстоянием и небольшим измерительным диапазоном, вторая группа – датчики со средней базой и измерительным диапазоном, третья группа – датчики с большим измерительным диапазоном. В датчиках доступны две опции - красный или синий лазер. Использование

синих лазеров вместо традиционных красных существенно расширяет возможности датчиков, в частности, при контроле высокотемпературных объектов, а также органических материалов [19].

В таблице 9.1 показаны технические характеристики триангуляционного лазерного датчика РФ600-420/2500.

Таблица 9.1 – Технические характеристики датчика РФ600-420/2500

Характеристика	Единица измерения	Числовой показатель
Базовое расстояние	мм	420
Диапазон измерений	мм	2500
Линейность	%	±0,2
Разрешение	%	0,03
Максимальная частота обновления данных	кГц	9,4
Потребляемая мощность	Вт	2
Вес (без кабеля)	кг	1

На рисунке 9.4 показана фотография датчика РФ600-420/2500.



Рисунок 9.4 - Фотография датчика РФ600-420/2500

С помощью лазерного измерительного устройства замер наружного диаметра кольца будет производиться по трем точкам, так как окружность можно построить по трем точкам и более. Тогда нам понадобится 3 датчика, установленных на станине на уровне плоскости раскатки. Схема такого измерения показана на рисунке 9.5

На схеме измерения наружного диаметра кольца лазерным устройством показаны: раскатываемое кольцо 1, главный вал 2, дорновый вал 3, аксиальный валок 4, стол плоскости раскатки 5, триангуляционные лазерные датчики РФ600-420/2500 обозначены позицией 6.

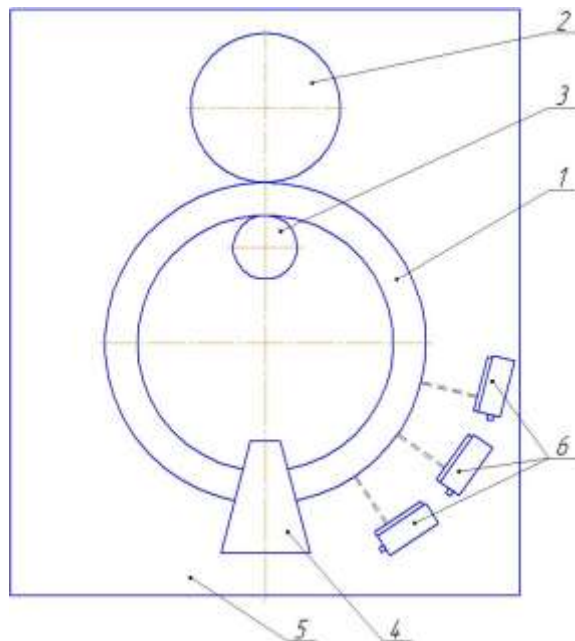


Рисунок 9.5 - Схема измерения наружного диаметра кольца лазерным устройством.

9.2 Система автоматического регулирования кольцераскатного стана

На существующем кольцераскатном стане система управления содержит ручной пульт управления, подключенный к блоку управления раскаткой, к исполнительным цепям радиальной и аксиальной клетки и дорновому валку. Так же имеется загрузочный неприводной рольганг. Контроль геометрических размеров кольца осуществляется механически по трем точкам контакта с кольцом – измерительный ролик и два центрирующих вала. Эта система не обеспечивает полной автоматизации стана, высокой производительности процесса раскатки, а так же требуемого качества и надежности раскатки.

Предложенная система автоматического регулирования устраняет указанные недостатки за счет того, что, с целью повышения качества изделий и производительности, оно снабжено блоком контроля исходной позиции рабочих органов стана, блоком управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клеток, блоком управления перемещением аксиальной клетки в горизонтальном и вертикальном направлении в процессе раскатки, блоком управления отводом клеток и разгрузкой, блоком контроля дорна и датчиком усилия и лазерным бесконтактным измерителем наружного диаметра кольца. Схема автоматического регулирования кольцераскатного стана показана на рисунке 9.6.

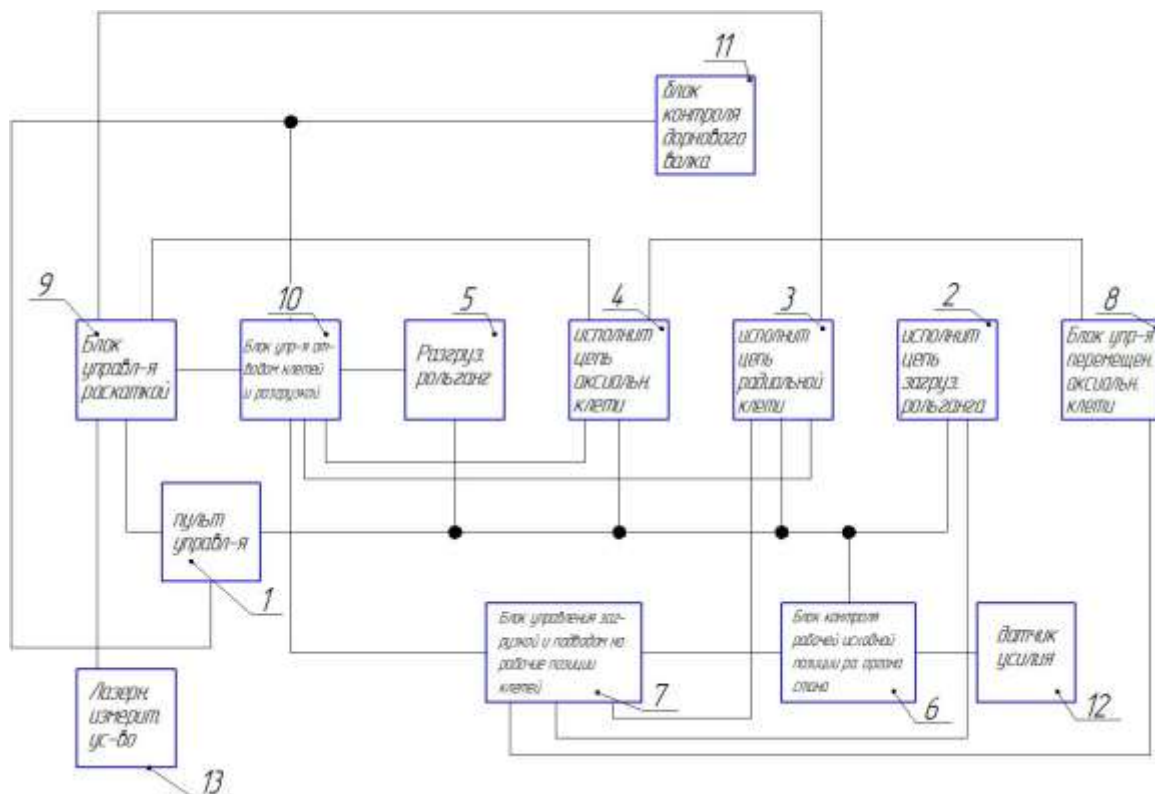


Рисунок 9.6 - Схема автоматического регулирования кольцераскатного стана

Устройство управления радиально-осевым кольцераскатным станом содержит пульт управления 1, исполнительные цепи загрузочного рольганга 2, исполнительные цепи радиальной клетки 3, исполнительные цепи аксиальной клетки 4, разгрузочного рольганга 5, блок 6 контроля исходной позиции рабочих органов стана, блок 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клеток, блок 8 управления перемещением аксиальной клетки, блок 9 управления раскаткой, блок 10 управления отводом клеток и разгрузкой, блок 11 контроля дорнового вала и датчик усилия 12.

Пульт управления 1 связан с блоком 9 управления раскаткой, с исполнительными цепями 2-5. Исполнительные цепи радиальной 3 и аксиальной 4 клеток соединены с блоком 9 управления раскаткой. Блок 6 контроля исходной позиции рабочих органов стана соединен с пультом управления 1, с датчиком усилия 12, с исполнительными цепями клеток 3 и 4 и рольгангов 2 и 5, с блоком 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клеток. Блок 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клеток связан с исполнительными цепями загрузочного рольганга 2, радиальной клетки 3 и через блок 8 управления перемещением аксиальной клетки с её исполнительной цепью 4. Блок 9 управления раскаткой подключен к блоку 10 управления отводом клетки и разгрузкой, соединенному с исполнительными цепями клеток 3 и 4, разгрузочного рольганга 5 с блоком 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клеток, так же блок связан с бесконтактным измерительным устройством 13. Блок 11 контроля дорнового вала соединен с пультом управления 1 и с блоком 10 управления отводом клеток и разгрузкой. Датчик усилия 12 соединен с блоками 6 и 7.

Автоматический режим работы устройства происходит по следующей схеме. При исходных положениях загрузочного и разгрузочного рольгангов, радиальной и аксиальной клетей со стороны исполнительных цепей 2-5 на блок 6 не поступает сигналов. Это способствует прохождению сигнала на блок 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клетей со стороны датчика усилия 12, установленного на загрузочном рольганге, срабатывающего при подаче на загрузочный рольганг машины заготовки. Блок 7 при этом запоминает и выдает сигнал на исполнительную цепь загрузочного рольганга 2. При этом рольганг 2 машины подводит заготовку на рабочую позицию. Одновременно с срабатыванием исполнительной цепи 2 обратный сигнал с нее возвращается на блок 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клетей и согласуется с запомненным сигналом. После этого блок 7 запоминает и выдает сигнал на исполнительную цепь радиальной клетки 3. При этом радиальная клетка стана начинает перемещаться к рабочей зоне, обратный же сигнал с исполнительной цепи 3 возвращается на блок 7 управления загрузкой и подводом на рабочую позицию клетей и согласуется с запомненным сигналом. После этого блок 7 через блок 8 управления перемещением аксиальной клетки выдает команду на исполнительную цепь аксиальной клетки 4. При этом аксиальная клетка машины начинает движение в рабочей зоне. Дойдя до рабочей зоны радиальная и аксиальная клетки стана сжимают заготовку до определенного усилия, после чего срабатывает датчик блока 9 управления раскаткой, который автоматически в нужном режиме проводит раскатку и контролирует размеры кольца бесконтактным лазерным измерительным устройством 13, выдавая при этом соответствующие сигналы на исполнительные цепи 3 и 4. При достижении нужных размеров кольца блок 9 выдает сигналы на пульт управления 1 и на блок 10 управления отводом клетей и разгрузкой. При этом блок 10 блокирует блок 7 и одновременно выдает команды на исполнительные цепи клетей 3 и 4 и цепь рольганга 5. Происходит отвод клетей машины и разгрузка заготовки. Затем цикл повторяется заново.

В процессе работы стана блок 11 контроля дорнового валка осуществляет контроль состояния дорнового валка радиальной клетки. В случае его поломки блок 11 выдает аварийный сигнал на пульт управления 1 и на блок 10 управления отводом клетей и разгрузкой, который блокирует блок 7 управления загрузкой и одновременно выдает команды на исполнительные цепи клетей 3 и 4 и исполнительную цепь разгрузочного рольганга 5. При этом производится развод клетей и выгрузка заготовки.

Ручной режим осуществляется следующим образом. При подаче на загрузочный рольганг нагретой заготовки оператор на пульте управления 1 включает исполнительную цепь загрузочного рольганга 2. При этом загрузочный рольганг подводит на рабочую позицию заготовку. Затем оператор пультом управления перемещает клетки 3 и 4. При этом клетки 3 и 4 подводятся к заготовке на рабочей позиции. При зажиме с определенным усилием валками клетей заготовки автоматически включает блок 9 управления раскаткой, создавая нужный режим и контролируя размеры кольца. Оператор наблюдает за индика-

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

торами на пульте управления 1, дожидаясь нужного размера кольца. При достижении заданного размера оператор останавливает процесс раскатки и производит развод клетей 3 и 4 включением исполнительной цепи и производит выгрузку детали разгрузочным рольгангом 5.

Таким образом предлагаемая система автоматического регулирования кольцераскатного стана позволяет благодаря автоматизации всего цикла работы стана от загрузки до выгрузки заготовок повысить производительность, точность, надежность раскатки, предотвратить поломку важнейших узлов стана, а в случае неисправностей блоков, участвующих в автоматическом управлении, быстро перейти на ручной режим работы, исключая простой стана во время ремонта блоков автоматического управления.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результат исследования процесса раскатки банджа с использованием системы конечно-элементного моделирования, подтвердил возможность раскатки полуфабриката на спроектированном оборудовании, правильность выбора технологических параметров, а так же результат исследования поможет уменьшить количество бракованных изделий закладываемых на освоение.

В рамках работы был спроектирован кольцераскатной участок с заготовительными участками, на которое было помещено различное по мощности и производительности оборудование, для производства полуфабрикатов под раскатку. При выборе оборудования было учтено то, что кольца предполагается раскатывать с прямоугольным и профильным сечением, различных масс. Все вышеперечисленное оборудование имеется на предприятии как действующее, либо находящееся на консервации.

Разработанная конструкция узла верхнего аксиального валка доказала работоспособность на предприятии, на практике. Устранены люфты и колебания узла, улучшена и унифицирована конструкция узла.

Мероприятия по автоматизации позволят повысить количество выпускаемой продукции, качество и добиться высокой культуры труда.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 – Кольцеракатка в производстве деталей машиностроения / В.Е. Антонюк, П.А. Витязь, П.А. Пархомчик и др. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 188 с.
- 2 – Radial- und Radial-Axial-Ringwalzmaschine Typ RW und RAW. Wagner Banning. – SMS Meer. – 12 s.
- 3 – Ring Rolling Machine. – <http://www.agou.narod.ru/ring-rolling-machine.html>.
- 4 – Ring Rolling Mill. – <http://www.mnm.co.jp/english/products/forging/ringrolling/ringmill.html>.
- 5 – D52 and D53K series of Radial and Radial & Axial Ring Rolling Machine. – <http://www.sujixie.com/en/productd.aspx?pid=47>.
- 6 – KALTEK. - <http://www.kaltek.co.kr/>.
- 7 – ГОСТ 5257-97. Бандажи черновые из углеродистой стали для подвижного состава трамвая. Технические условия.
- 8 – ГОСТ 25712-88. Бандажи чистовые для вагонов трамвая. Технические условия.
- 9 – ГОСТ 8479-70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия.
- 10 – ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.
- 11 – Ковка и штамповка: Справочник в 4 т. / под ред. Е.И. Семенова и др. - М.: Машиностроение, 1987. - Т.2. - 384 с.
- 12 – Машины и агрегаты металлургических заводов: Справочник: В 3 т. Т. 3: Машины и агрегаты доменных цехов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник и др., – М.: Металлургия. 1988. – 68- с.
- 13 – Компания Электропроект. – <http://www.elp.ru/catalog/Elektricheskie-mashiny-Elektrodivigateli-generatory/Elektrodivigateli-postoyannogo-toka-Generator-postoyannogo-toka/Elektrodivigateli-postoyannogo-toka-serii-4P>.
- 14 – Шейнблит, А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учебное пособие / А.Е. Шейнблит. – Москва: Высш. шк., 1991. – 432 с.
- 15 – САПР решения для проектирования и производства. – <https://procnc.ru/solidworks-simulation/>.
- 16 – QForm. Моделирование процессов обработки металла давлением. – <https://qform3d.ru>.
- 17 – Автоматизация прокатного стана <https://www.ngpedia.ru/id226691p1.html>.
- 18 – Научная библиотека. Принципы работы лазерных измерительных устройств. – http://stu.scask.ru/book_ar1.php?id=74.
- 19 – RIFTEK. Триангуляционные лазерные датчики. Серия РФ600. – https://ru.d-test.ru/UPLOAD/2013/01/16/rf600_riftek.pdf.
- 20 – ГОСТ 7634-75. Подшипники радиальные роликовые многорядные с короткими цилиндрическими роликами. Типы и основные размеры.

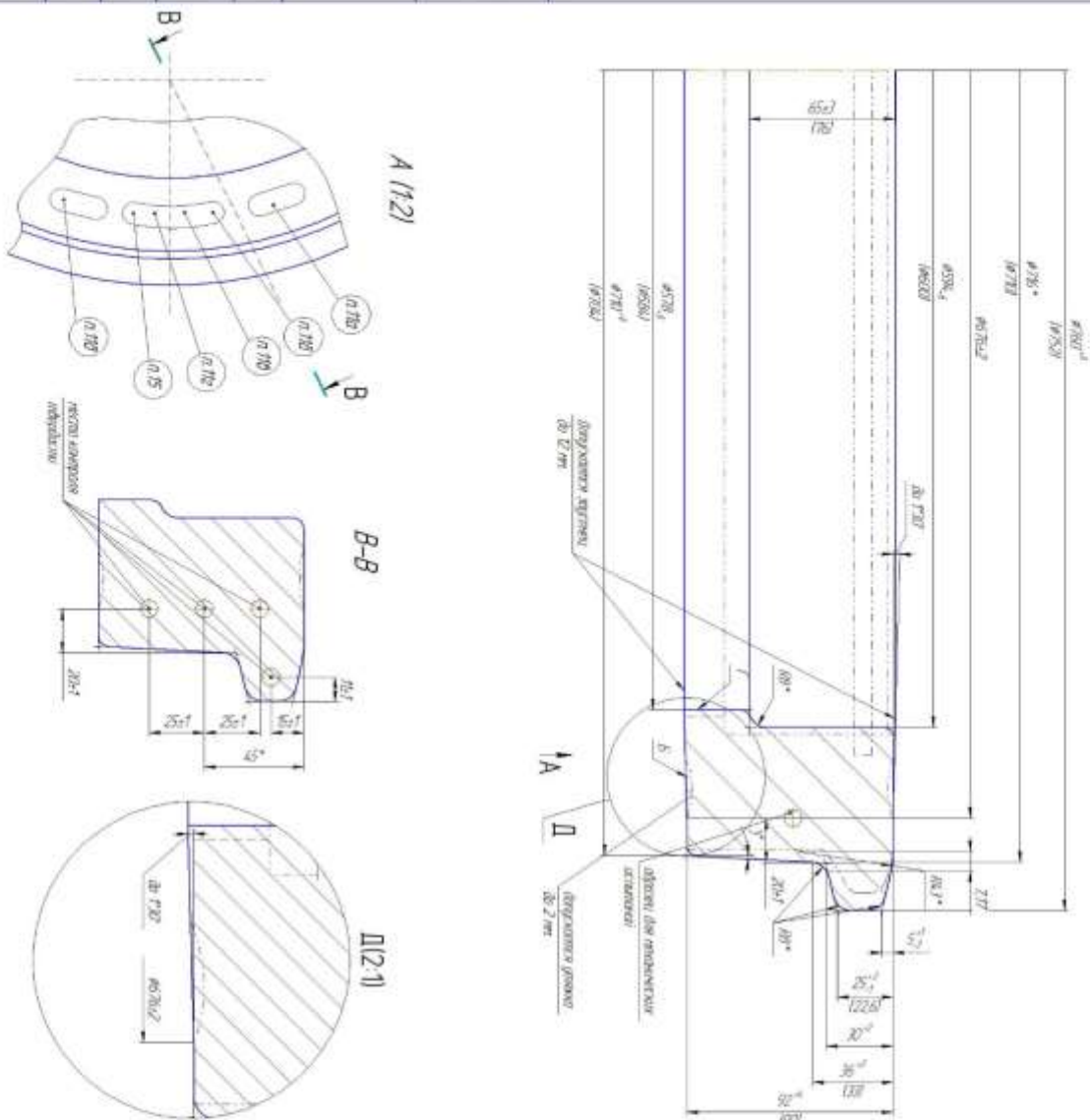
					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

21 – Романенко, В.П. Машины, агрегаты и производство железнодорожных колёс и кольцеобразных профильных изделий: учебное пособие / В.П. Романенко. – Выкса: ВФ МИСиС, 2006. – 117 с.

					ЮУрГУ–22.04.02.2019.176.00.00.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Е8255



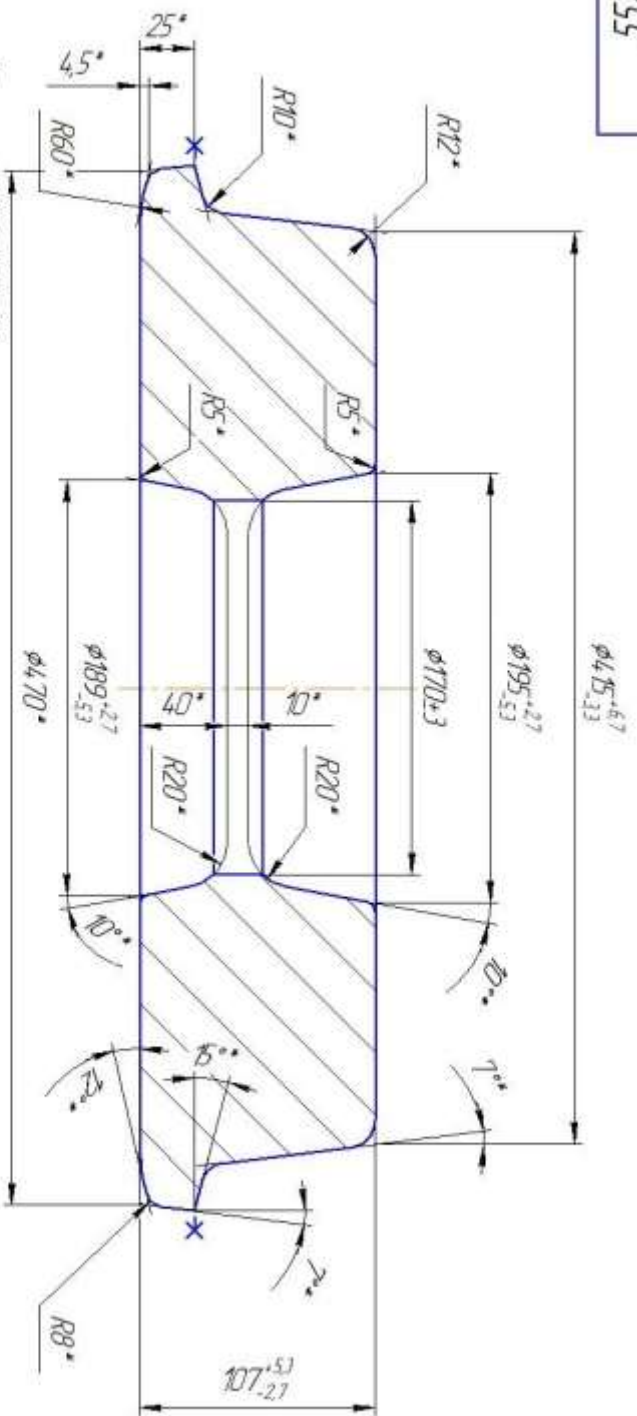
- 1 Термообработка преобразованной (формованной) отливки и упрочняющая обработка отливки, режим и нормы механических свойств по ТУ 807.03.11-96;
- 2 Размеры в скобках относятся к чистовой детали;
- 3 Неужелательные отклонения 5 мкм;
- 4 Допускается отклонение от плоскостности до 2 мм. Допуск плоскостности проверяют на пяти брандах от партии, результаты выдержанного контроля распространяются на все партии;
- 5 Обвальность, разностенность и разносторонность в пределах допусков на указанные размеры. Ширина кольца цельнокатаного должна проверяться вне места расположения эскиза маркировки на расстоянии не менее 100 мм от ее крайних эскизов по ГОСТ 5257-98;
- 6 Кольца цельнокатаные прокатать;
- 7 На выдержанной шлицевой поверхности кольца цельнокатаного на поверхности катаных и ребре допусковая пленка, впадинная окантовка, эскизы, трещины, загромождения и расстояния глубиной не более 2,5 мм, на выдержанной поверхности (за исключением ребровой глубины) не более 2 мм по ГОСТ 5257-98;
- 8 На наружной поверхности поверхности 5- кольца цельнокатаного допусковая пленка, впадинная окантовка, эскизы, трещины, загромождения глубиной до 5 мм по ГОСТ 5257-98. Общая длина выростов на одном кольце должна быть не более 150 мм, причем свыше двух выростов на одном поперечном сечении не допускается по ГОСТ 5257-98;
- 9 Контроль маркировки по ТУ 807.03.11-96;
- 10 Допускается частичная механическая обработка бракованных поверхностей не нарушающая целостности маркировки;
- 11 Маркировка:
 - а) Шифр, сменч (А, Б, Г);
 - б) Годовый эскиз предприятия поставщика;
 - в) Две последние цифры года изготовления;
 - г) Полный номер плавки;
 - д) Порядковый номер брандажа (0001);
- 12 Маркировка наносится на расстоянии 12-20 мм от выдержанной поверхности поверхности Т- высотой 10 мм и глубиной от 1 до 4 мм, изменять порядок маркировки не допускается по ГОСТ 5257-98;
- 13 Допуски и допуски по преобразованной заготовке;
14. Размеры обозначаются упрощенно;
- 15 Маркировка: ОТХ.

55283		Кольцо цельнокатаное	
№	Дата	№	Дата
1	11.01.96	1	11.01.96
2	11.01.96	2	11.01.96
3	11.01.96	3	11.01.96
4	11.01.96	4	11.01.96
5	11.01.96	5	11.01.96
6	11.01.96	6	11.01.96
7	11.01.96	7	11.01.96
8	11.01.96	8	11.01.96
9	11.01.96	9	11.01.96
10	11.01.96	10	11.01.96
11	11.01.96	11	11.01.96
12	11.01.96	12	11.01.96
13	11.01.96	13	11.01.96
14	11.01.96	14	11.01.96
15	11.01.96	15	11.01.96
16	11.01.96	16	11.01.96
17	11.01.96	17	11.01.96
18	11.01.96	18	11.01.96
19	11.01.96	19	11.01.96
20	11.01.96	20	11.01.96
21	11.01.96	21	11.01.96
22	11.01.96	22	11.01.96
23	11.01.96	23	11.01.96
24	11.01.96	24	11.01.96
25	11.01.96	25	11.01.96
26	11.01.96	26	11.01.96
27	11.01.96	27	11.01.96
28	11.01.96	28	11.01.96
29	11.01.96	29	11.01.96
30	11.01.96	30	11.01.96
31	11.01.96	31	11.01.96
32	11.01.96	32	11.01.96
33	11.01.96	33	11.01.96
34	11.01.96	34	11.01.96
35	11.01.96	35	11.01.96
36	11.01.96	36	11.01.96
37	11.01.96	37	11.01.96
38	11.01.96	38	11.01.96
39	11.01.96	39	11.01.96
40	11.01.96	40	11.01.96
41	11.01.96	41	11.01.96
42	11.01.96	42	11.01.96
43	11.01.96	43	11.01.96
44	11.01.96	44	11.01.96
45	11.01.96	45	11.01.96
46	11.01.96	46	11.01.96
47	11.01.96	47	11.01.96
48	11.01.96	48	11.01.96
49	11.01.96	49	11.01.96
50	11.01.96	50	11.01.96
51	11.01.96	51	11.01.96
52	11.01.96	52	11.01.96
53	11.01.96	53	11.01.96
54	11.01.96	54	11.01.96
55	11.01.96	55	11.01.96
56	11.01.96	56	11.01.96
57	11.01.96	57	11.01.96
58	11.01.96	58	11.01.96
59	11.01.96	59	11.01.96
60	11.01.96	60	11.01.96
61	11.01.96	61	11.01.96
62	11.01.96	62	11.01.96
63	11.01.96	63	11.01.96
64	11.01.96	64	11.01.96
65	11.01.96	65	11.01.96
66	11.01.96	66	11.01.96
67	11.01.96	67	11.01.96
68	11.01.96	68	11.01.96
69	11.01.96	69	11.01.96
70	11.01.96	70	11.01.96
71	11.01.96	71	11.01.96
72	11.01.96	72	11.01.96
73	11.01.96	73	11.01.96
74	11.01.96	74	11.01.96
75	11.01.96	75	11.01.96
76	11.01.96	76	11.01.96
77	11.01.96	77	11.01.96
78	11.01.96	78	11.01.96
79	11.01.96	79	11.01.96
80	11.01.96	80	11.01.96
81	11.01.96	81	11.01.96
82	11.01.96	82	11.01.96
83	11.01.96	83	11.01.96
84	11.01.96	84	11.01.96
85	11.01.96	85	11.01.96
86	11.01.96	86	11.01.96
87	11.01.96	87	11.01.96
88	11.01.96	88	11.01.96
89	11.01.96	89	11.01.96
90	11.01.96	90	11.01.96
91	11.01.96	91	11.01.96
92	11.01.96	92	11.01.96
93	11.01.96	93	11.01.96
94	11.01.96	94	11.01.96
95	11.01.96	95	11.01.96
96	11.01.96	96	11.01.96
97	11.01.96	97	11.01.96
98	11.01.96	98	11.01.96
99	11.01.96	99	11.01.96
100	11.01.96	100	11.01.96

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Изм № подл.	Подп и дата	Взам инв №	Изм № дробл	Подп и дата	Справ №	Перв. измен
-------------	-------------	------------	-------------	-------------	---------	-------------

Ш8255



1. Поверхка разработана по ГОСТ 7505-89
11. Степень сложности: С4;
12. Группа сталей: М2;
13. Класс точности: 15;
14. Исходный индекс: 21;
2. Допусковая величина сечения по поверхности разреза шпона не более 18 мкм;
3. Допусковая величина остаточного обдоя не более 18 мкм;
4. Допусковое отклонение от плоскостности: 20 мкм;
5. Допусковое отклонение от концентричности: предельного отклонения отклонительно внешнего контура поковки: 30 мкм;
6. Наружные дефекты на обрабатываемых поверхностях не более 0,5 фактического припуска;
7. *Размеры обеспечиваются оснасткой, не контролируемой;
8. Очистить от окалины;
9. Поверхность разреза обозначена -Х
10. Группа испытаний поковки II НВ 156 - 217, ГОСТ 84.79-70;
11. Отдельные технические требования по ГОСТ 84.79-70.

Изм. № подл.	№ докум.	Подп.	Дата	55283Ш Поковка под раскатку Бандаж Сталь 65Г ГОСТ 5257-98			
Разработ.	Контроль	Контроль	Контроль				
Контроль	Контроль	Контроль	Контроль				
Исполн.	Упр.			Диаг.	Испыт.	Испыт.	Испыт.
				100	11		
				Формат	А3		