

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

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА  
Рецензент

\_\_\_\_\_ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Л.В. Радионова  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Тема работы «Разработка участка по производству заготовок методом горячей объемной штамповки для нефтегазоперерабатывающей промышленности»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 15.04.02.2018.198.ПЗ ВКР

Руководитель проекта,  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ М.Н. Самодурова  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор работы  
студент группы П-245

\_\_\_\_\_ Д.О. Митриковский  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

## АННОТАЦИЯ

Митриковский Д.О. Разработка участка по производству заготовок методом горячей объемной штамповки для нефтеперерабатывающей промышленности. – Челябинск: ЮУрГУ, П, 2018, 45 с, 16 ил., библиогр.список – 15 наим., 3 прил., 10 листов ф.А1.

В выпускной квалификационной работе представлен анализ современного состояния производства деталей трубопроводной арматуры.

Спроектирован участок по производству заготовок методом горячей объемной штамповки.

Разработан конструкция пластинчатого конвейера для перемещения поковок.

Рассчитан на прочность вал в программе SolidWorks.

Приведен алгоритм автоматизация процесса горячей объемной штамповки.

Рассчитаны основные экономические показатели разработанного участка.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Анализ современного состояния производства и потребления деталей трубопроводной арматуры.....	10
2 Обзор технологии производства поковок методом горячей объемной штамповки.....	11
2.1 Сущность процесса горячей объемной штамповки.....	11
2.2 Предлагаемая технология штамповки.....	12
3 Выбор основного оборудования для производства поковок.....	15
3.1 Нагревательное устройство.....	15
3.2 Оборудование для штамповки и маркировки.....	16
4 Разработка и расчет конструкции оборудования для транспортировки поковок.....	20
4.1 Выбор типа транспортирующей машины.....	20
4.2 Общее устройство пластинчатого конвейера.....	21
4.3 Расчет энергосиловых параметров конвейера.....	22
4.4 Описание разработанной конструкции пластинчатого конвейера.....	24
5 Расчет деталей пластинчатого транспортера на прочность.....	25
5.1 Расчет ведомого вала на прочность.....	25
5.2 Выбор подшипников качения.....	29
6 ОРГАНИЗАЦИЯ производства и проектирование участка.....	30
6.1 Годовой план производства участка.....	30
6.2 Потребность в производственном оборудовании.....	30
6.3 Расчет численности основных рабочих.....	32
6.4 Планировка участка цеха.....	33
6.2 Производственное здание.....	34
7 Автоматизация процесса горячей штамповки.....	35
8 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	40

8.1 Определение базовых показателей технологии .....	40
8.2 Материальные затраты.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	43
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	44

Приложение А – Алгоритм автоматизации процесса горячей штамповки

Приложение Б – Спецификация транспортера пластинчатого

Приложение В – Спецификация узла вала ведомого

Приложение Г – Спецификация узла вала ведущего

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большим спросом в газонефтедобывающей промышленности пользуются детали, получаемые методами горячей штамповки с последующей механической обработкой. Дальнейшее развитие нефтегазовой и химической промышленности требует увеличения производства специальной арматуры, фланцев, задвижек, отводов. При этом ставятся задачи снижения себестоимости изготовления этих изделий. Поэтому создание новых и совершенствование действующих технологий штамповки и технологических линий является актуальным для арматуростроения.

Наряду с крупными производителями производство трубопроводной арматуры (ТПА) сосредоточено на многочисленных специализированных производствах: ЗАО «КОНАР» и ОАО «Трубодеталь», г. Челябинск; ОАО «Благовещенский арматурный завод» г. Благовещенск, Башкортостан; ОАО «КОРВЕТ» и ОАО «ИКАР» г. Курган; ООО «Арматурно-фланцевый завод» и ООО ПКП «Сибирский завод металлоизделий» г. Омск; «Лискинский арматурный завод» г. Лиски Воронежской обл.; Завод деталей трубопроводов «Реком» г. С-Петербург, ООО «Сиверский метизный завод» п. Сиверский Ленинградская обл. и др. Из зарубежных предприятий, производителей ТПА, наиболее известными являются: «GALPERTI GROUP» (Италия), «ENARA» и «ULMA FORJA» (Испания), «KOREA FLANGE CO» (Корея). Штампованные заготовки трубопроводной арматуры: фланцы, заглушки, корпуса, изготавливаются на многих металлообрабатывающих предприятиях России: ОАО «Курганмашзавод», г. Курган; ОАО «Уральская кузница» г. Чебаркуль, Челябинской обл.; ПАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод» г. Челябинск; АО «Мотовилихинские заводы» (ООО «Металлургический завод Камасталь» г. Пермь, ООО «Стальлит ЮК» пос. Юго-Камск, Пермской обл.); ООО «Ирбитский механический завод НИЦА» г. Ирбит; ЗАО «Талнахский механический завод» г. Тула и др.

В настоящее время основным видом заготовок для изготовления мелких и средних фланцев для арматурного производства являются горячештампованные поковки. Они производятся вышеуказанными отечественными и зарубежными производителями, в больших объемах и широком диапазоне размеров, преимущественно на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) и штамповочных молотах (ПВШМ). Поковки одних и тех же фланцев в зависимости от назначения штампуют из различных конструкционных сталей – от углеродистых до высоколегированных. Доля поковок фланцев в номенклатуре отдельных кузнечных производств, например Кузнечного завода ОАО «Курганмашзавод», составляет порядка 10...15% при объемах, достигающих 20% тоннажа выпуска (ОАО «Уральская Кузница»).

## 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Согласно данным Росстата и Союза машиностроителей России, рост промышленного производства в 2017 году составил 4,7. Так же производство трубопроводной арматуры выросло в 2018 году на 8,8% в натуральном выражении и на 23% в стоимостном выражении (в рублях). В долларовом эквиваленте рост составил 24,4%. Отметим, что годом ранее эти показатели составляли 8,3; 19 и 24,4% соответственно.

Согласно прогнозу компании McIlvaine Company, объем мирового рынка промышленной арматуры и приводов в 2017 году составит более \$55 млрд. Тем самым, прогнозируется 5-процентный рост рынка, который в текущем году будет иметь объем порядка \$53 млрд. McIlvaine обещает и дальнейший рост объемов продаж арматуры, которые в 2015...2018 году достигнут \$60 млрд.

Так, в 2014 году, согласно данным McIlvaine, объем рынка арматуры всей Восточной Европы составит около \$2 млрд, а в последующих годах, судя по всему, его объем будет еще больше. [1]

## 2 ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОКОВОК МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

### 2.1 Сущность процесса горячей объемной штамповки

Метод заключается в том, что при приложении высокого давления металл горячей заготовки подвергается серии последовательных деформаций, и, не нарушая своей целостности, затекает в свободное пространство специально подготовленных штампов, повторяя их пространственную форму и приходя к заданным размерам. Выступы и впадины в соответствующих локальных областях штампа ограничивают и направляют движение металла, приближая с каждым проходом конфигурацию и габариты болванки к параметрам конечного изделия. При последнем рабочем проходе они формируют замкнутый единый ручей (полость), совпадающий с конфигурацией готового изделия.

В качестве болванок использует круглый или прямоугольный прокат, а также горячекатаный лист. Горячая объемная штамповка проводится и прямо из прутка, если конфигурация детали не очень сложная и достаточно одного-двух проходов. Впоследствии отдельные детали отрубают от прутка.

Наиболее частым применением в производстве пользуются методами открытой горячей штамповки и закрытой.

Штамповка в открытых штампах характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять высокие требования к точности заготовок по массе. Штамповкой в открытых штампах можно получить поковки всех типов.

Штамповка в закрытых штампах характеризуется тем, что полость штампа в процесс деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не преду-



смотрено. При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность. Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.[2]

## 2.2 Предлагаемая технология штамповки

Для разработки участка по производству заготовок принимаем за основу технологический процесс получения поковки детали «Фланец». Стальная конструкция фланца включает в себя два элемента, непосредственно фланец, а также воротник, которые монтируются в комплектации для расчета определенной нагрузки рабочего давления трубопроводной системы. Кольцо и фланец должны иметь строго определенный диаметр, которые рассчитаны на эксплуатацию трубопроводной системы. Кольцо приваривается к трубе, а фланец остается свободным, при этом монтажные соединения фланца осуществляется через специальные отверстия, которые предназначены для болтовых соединений.

### 2.2.1 Технологические операции

Технологический процесс получения поковок методом закрытой горячей объемной штамповки состоит из следующих основных операций:

1 Нагрев.

2 Фасонная осадка. При таком виде осадке заготовка принимает форму близкую к форме поковки, а также обеспечивает лучшее центрирование в полости штампа.

3 Предварительная штамповка. При предварительной штамповки заготовка принимает форму близкую к окончательной. Вследствие чего увеличивается стойкость вставок и точность поковки.

4 Окончательная штамповка.

5 Маркировка.

### 2.2.2 Переходы горячей штамповки

Переходы горячей штамповки показаны на рисунках 1, 2, 3.

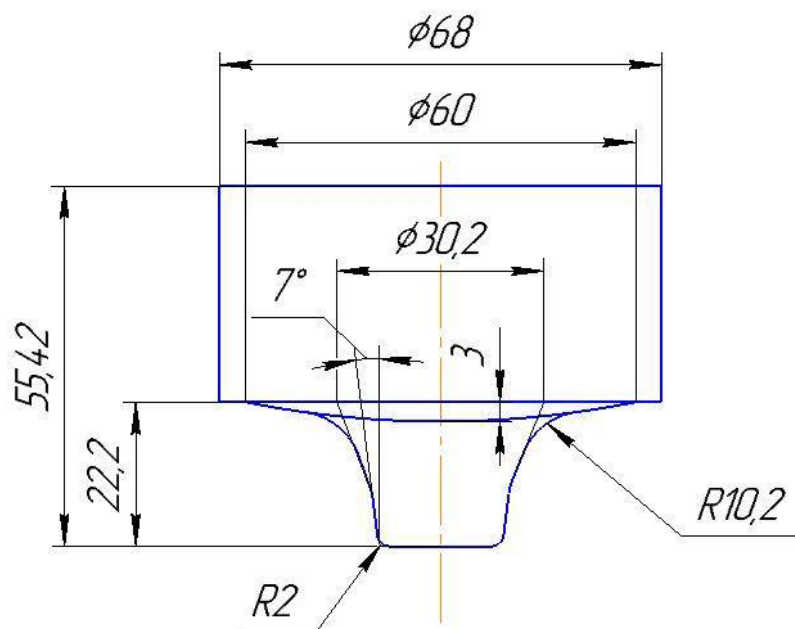


Рисунок 1 – Фасонная осадка

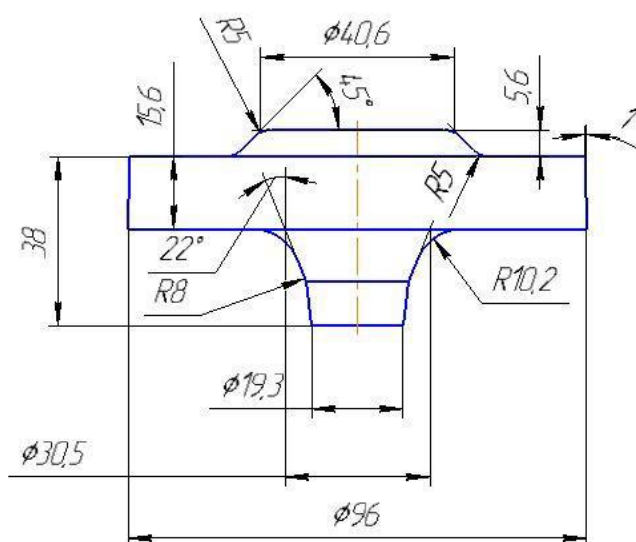


Рисунок 2 – Предварительная штамповка

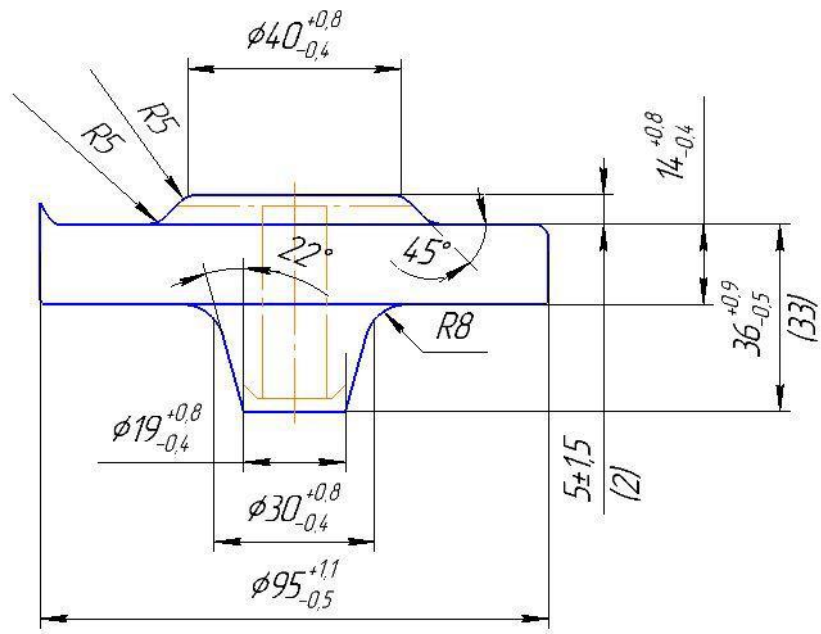


Рисунок 3 – Окончательная штамповка

## 3 ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОКОВОК

### 3.1 Нагревательное устройство

При нагреве стальных заготовок под штамповку должны быть обеспечены требуемая температура, равномерное распределение температуры по поверхности и по сечению заготовки, минимальное окисление и обезуглероживание поверхности, сохранение целостности нагреваемого материала, то есть отсутствие микро- и макротрещин.

Нагрев заготовки из стали 20 осуществляется в индукционном нагревателе КИН13 250/2,4Н до температуры 1150...1250С°, один раз на все последующие переходы штамповки.

Конструкция приведена на рисунке 4. Технические характеристики приведены в таблице 1. [3]

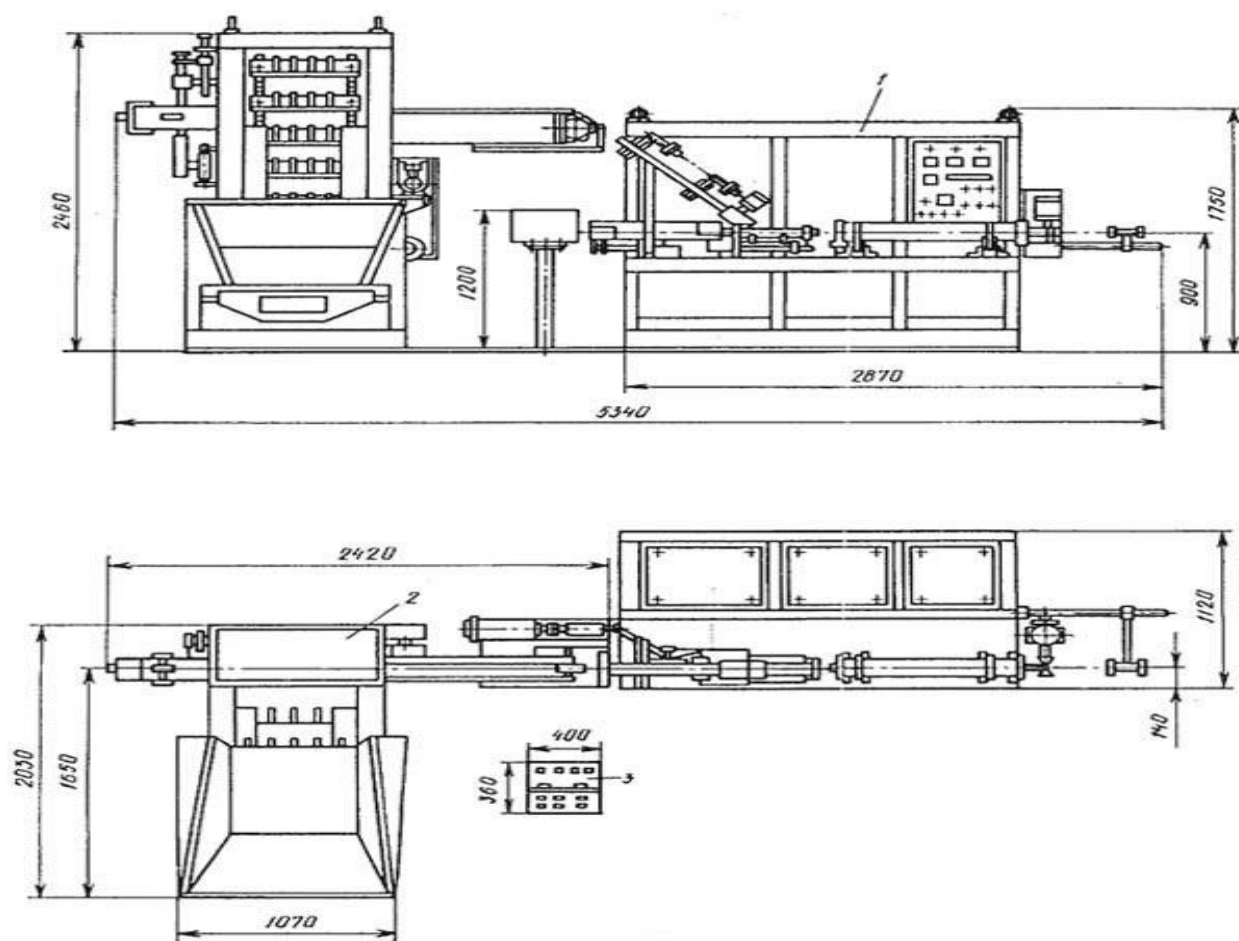


Рисунок 4 – Общий вид КИН13 250/2,4Н

где 1 – нагреватель индукционный, 2 – автоматизированное загрузочное устройство, 3 – пульт управления.

Таблица 1 – Техническая характеристика нагревателя

Мощность средней частоты, кВт	250
Частота рабочая, кГц	2,4
Размеры нагреваемых заготовок, мм - диаметр - длина	25-60 70-250
Температура нагрева заготовок, гр.С	1200
Производительность максимальная, кг/ч, при заготовке диаметром, мм:- 20, 30, 45, 60 Расход сжатого воздуха м <sup>3</sup> /ч Уд. расход электроэнергии, кВт/ч	730 6,5 0,325

### 3.2 Оборудование для штамповки и маркировки

Для возможности размещения блока формовочного штампа со вставками необходим пресс усилием 16 МН марки КБ8542. Характеристика прессы представлена в таблице 2.[4] Общий вид прессы представлен на рисунке 5.

Таблица 2 – Характеристика прессы КБ8542

Номинальное усилие, МН	16
Ход ползуна, мм	300
Число ходов ползуна в минуту	75
Штамповая высота, мм	850
Число одиночных включений, мин-1	22
Размеры ползуна, мм	
слева направо	890
спереди назад	940
Размеры стола, мм	1050×1200
Мощность привода, кВт	100
Тип электродвигателя	АК101-6М
Габаритные размеры, мм	5060×3940
Высота над уровнем пола	5125
Масса, кг	120000

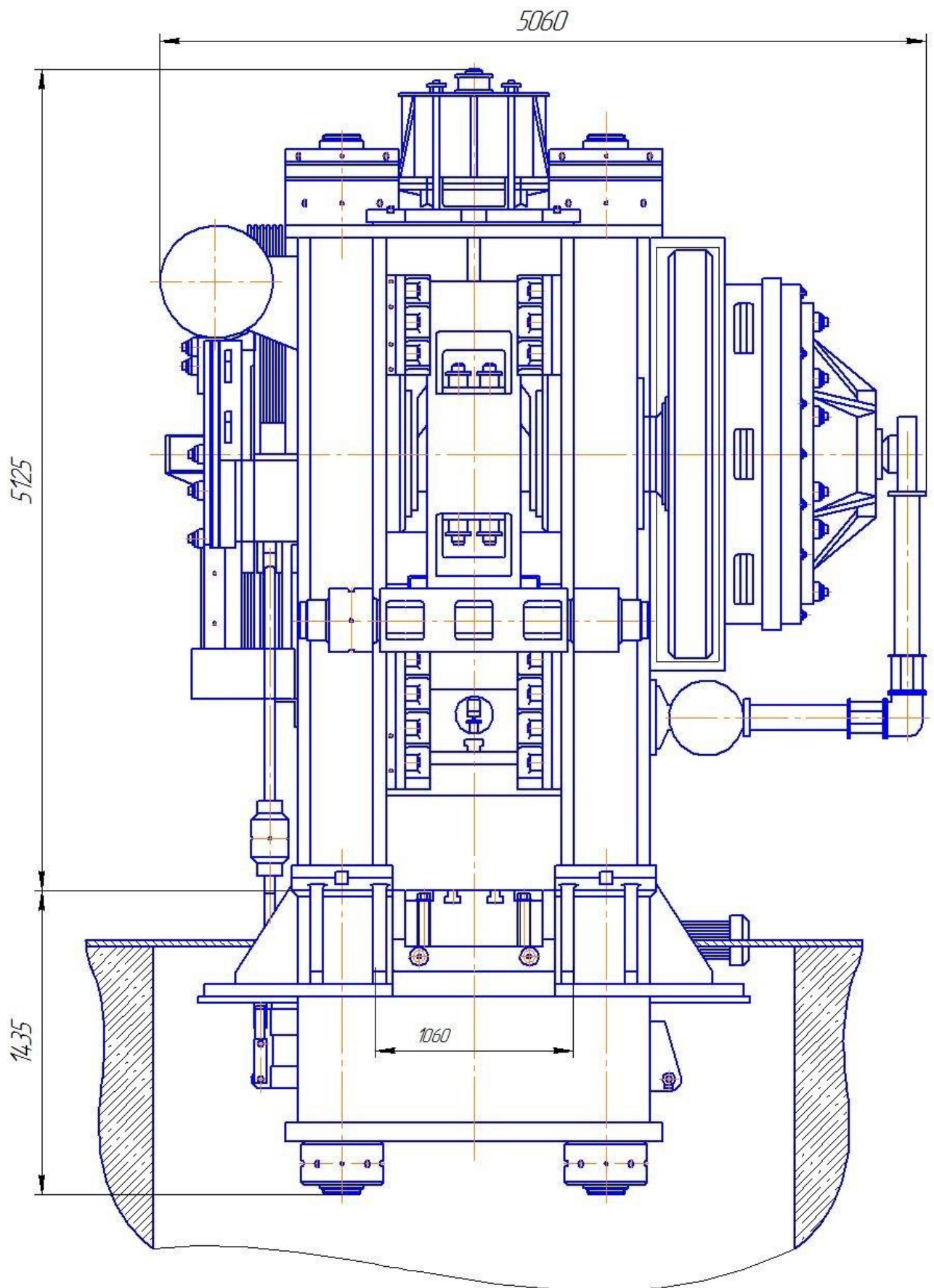


Рисунок 5 – Общий вид пресса КБ8542

Для маркировки и удаления облоя (при необходимости) используется пресс простого действия KB2132, общий вид которого представлен на рисунке 6. Характеристика прессы представлена в таблице 3.[5]

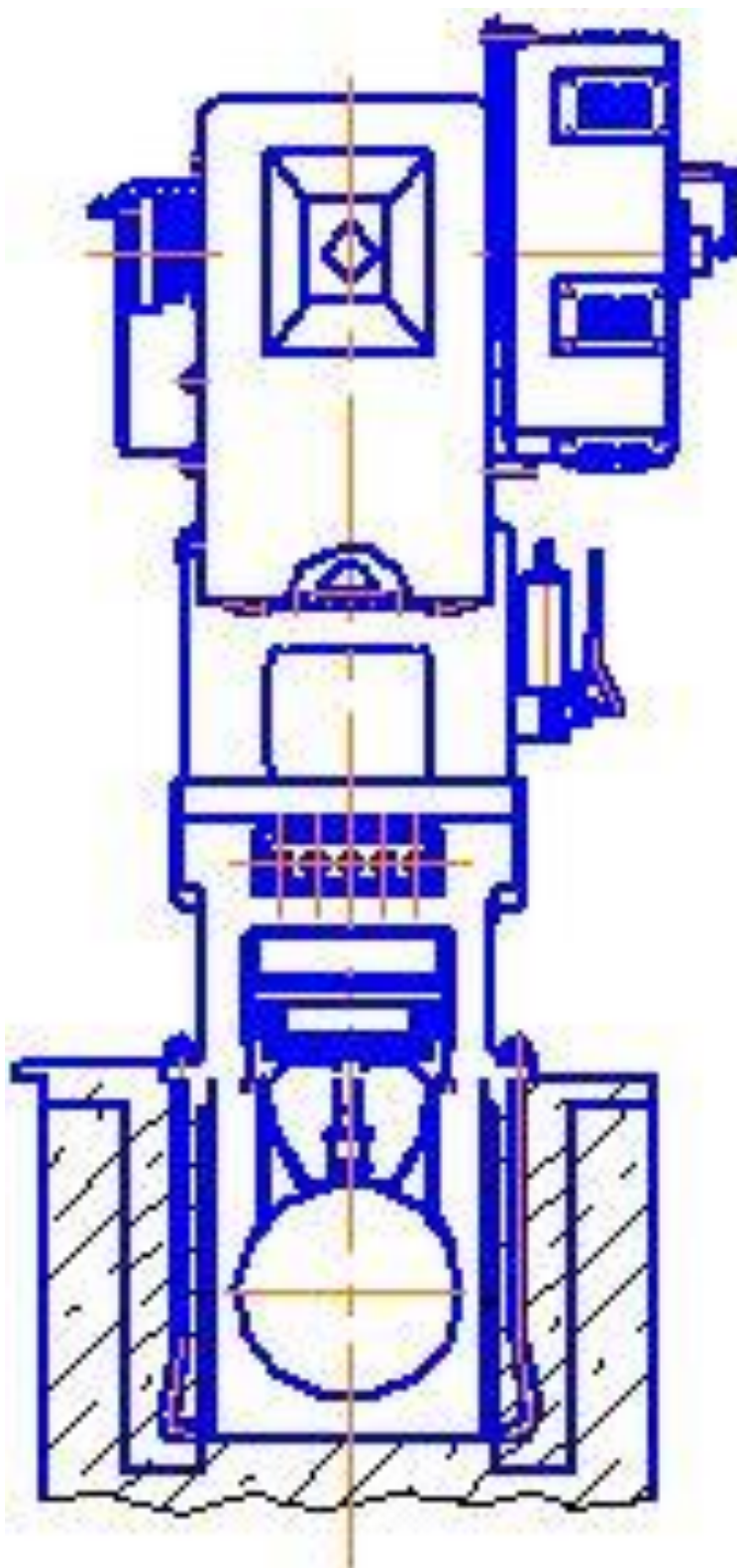


Рисунок 6 – Пресс простого действия KB2132

Таблица 3 – Характеристика прессы KB 2132

Наименование параметра	KB2132
Номинальное усилие пресса, кН (т)	1600
Наибольший ход ползуна (штока), мм	25..160
Путь номинального усилия до нижней мертвой точки (НМТ), мм	5
Частота ходов ползуна непрерывных, 1/мин	71
Частота ходов ползуна одиночных от кнопки, 1/мин	28
Размеры стола, мм	1000x670
Размеры отверстия в столе, мм	480x320
Диаметр отверстия в столе, мм	420
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в его нижнем положении - закрытая высота пресса, мм	480
Расстояние от оси штока до станины (вылет), мм	360
Величина регулировки расстояния между столом и ползуном, мм	120
Расстояние между стойками станины в свету, мм	480
Толщина подштамповой плиты, мм	120
Габариты пресса (длина ширина высота), мм	2340x2100x3700
Масса пресса, кг	14000



## 4 РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОКОВОК

### 4.1 Выбор типа транспортирующей машины

Основными критериями для выбора типа транспортирующей машины являются технико-экономическая эффективность ее использования, надежность работы в заданных условиях, удовлетворение комплексу технических требований и требований охраны труда и техники безопасности.

Технические факторы выбора транспортирующей машины:

- характеристика перемещаемого груза;
- заданная производительность;
- направление, длина и конфигурация трассы транспортирования;
- способы загрузки и разгрузки;
- характеристика производственных процессов, сочетаемых с процессом транспортирования;
- производственные и климатические условия.

Наиболее широкое применение получили пластинчатые стационарные, которые являются конвейерами общего назначения. В промышленности строительных материалов и на химических заводах применяют преимущественно пластинчатые конвейеры, используемые для перемещения крупнокусковых и горячих материалов.

Наиболее ярко все преимущества проявляются при сравнении данного вида конвейеров с другими. Основными достоинствами можно считать следующие:

- транспортировка более широкого ассортимента грузов (в сравнении с ленточными конвейерами);
- способность транспортировки по сложной траектории;
- способность осуществления транспортировки по трассе с крутыми подъемами;
- возможность изменения и дополнения конфигурации в зависимости от задач благодаря унифицированным узлам, из которых состоит пластинчатый конвейер;
- надежность, прочность и долговечность;

- удобство обслуживания. [6]

#### 4.2 Общее устройство пластинчатого конвейера

Пластинчатый конвейер показан на рисунке 7, имеет станину, на концах которой установлены две звездочки – приводная 3 с приводом и натяжная с натяжным устройством 4. Бесконечный настил 1, состоящий из отдельных пластин, закрепляется к ходовой части, состоящей из одной или двух тяговых цепей 2, которые огибают концевые звездочки и находятся в зацеплении с их зубьями.

Вертикально замкнутые тяговые цепи движутся вместе с настилом по направляющим путям станины вдоль продольной оси конвейера. Конвейер загружается через одну или несколько воронок 5 в любом месте трассы, а разгружается через концевую звездочку и воронку. Промежуточная разгрузка возможна только для пластинчатых конвейеров с безбортовым плоским настилом. Скорость их движения составляет до 1,25 м/с.

Основные параметры пластинчатых конвейеров общего назначения установлены ГОСТ 22281-92: ширина настила: 400; 500; 650; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 мм; число зубьев звездочек: 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; скорость движения: 0,01; 0,016; 0,025; 0,04; 0,05; 0,063; 0,08; 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0 м/с.

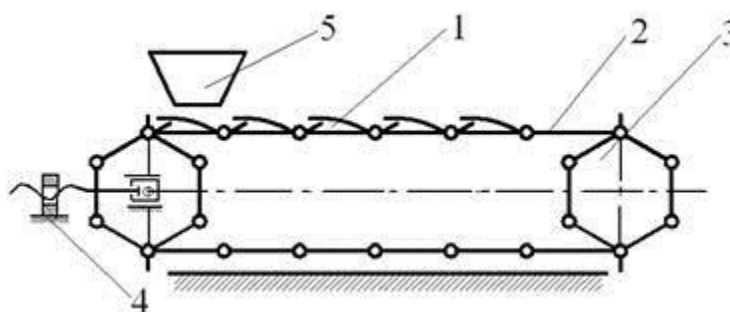


Рисунок 7 – Общая схема пластинчатого конвейера

где 1 – настил; 2 – тяговая цепь; 3 – приводная звездочка; 4 – натяжное устройство; 5 – загрузочный бункер.

### 4.3 Расчет энергосиловых параметров конвейера

#### 4.3.1 Расчет линейной скорости передвижения пластин

Скорость движения пластин конвейера должна обеспечивать заданную производительность без лишних потерь температуры поковок.

При годовой номенклатуре производства в 161600 необходимо определить максимально возможное время перемещения поковок. Количество поковок, транспортируемых за час рабочего времени, определим по формуле:

$$T = \frac{161600}{a \cdot b}, \text{ шт/час} \quad (1)$$

где  $a$  – количество рабочих дней в году,  $b$  – количество рабочих часов в сутки,  $c$  – количество минут в одном часе.

$$T = \frac{161600}{254 \cdot 16} = 40 \text{ шт/час}$$

Таким образом максимально возможное затрачиваемое время на перемещение одной поковки составляет 90 сек.

Скорость движения пластин конвейера определим по формуле:

$$V = \frac{L}{T}, \text{ м/с} \quad (2)$$

Где  $L$  – длина конвейера, равная 2 м;  $T$  – количество транспортируемых поковок за час рабочего времени.

$$V = \frac{2}{90} = 0,02 \text{ м/с}$$

Для сокращения количества потерь, а также возможного расширения номенклатуры участка принимаем линейную скорость перемещения 0,4 м/с.

#### 4.3.2 Тяговый расчет конвейера

Для штучных грузов ширину настила выбирают по габаритным размерам груза и требованиям, установленным ГОСТ 22281-76. Таким образом ширину настила принимаем 400 мм. [7]

Линейную силу тяжести настила с цепями  $q_0$  (Н/м) определяют по справочникам и каталогам, обычно:[6]

$$q_0 = 600 \cdot B + A, \text{ Н/м} \quad (3)$$

Где  $A$  – эмпирический коэффициент,  $B$  – ширина настила.

$$q_0 = 600 \cdot 0,4 + 400 = 640 \text{ Н/м}$$

Линейную силу тяжести груза определяют по формуле:[6]

$$q_{\Gamma} = \frac{2,73 \cdot Q}{V}, \text{ Н/м} \quad (4)$$

Где  $Q$  – производительность, принимаемая 0,04 т/ч.

$$q_{\Gamma} = \frac{2,73 \cdot 0,04}{0,4} = 0,273 \text{ Н/м}$$

Максимальное натяжение ходовой части находим приближенно по обобщённой формуле:[6]

$$S_{max} = 1,05 \cdot \{S_{min} + w[(q_{\Gamma} + q_0) \cdot L_{\Gamma} + q_0 \cdot L_x]\}, \text{ Н} \quad (5)$$

Где  $S_{min}$  – минимальное натяжение, равное 2000Н;  $w$  – коэффициент сопротивления движению настила, равный 0,06;  $L_{\Gamma}$  – участок загрузки конвейера, принимаемый 200мм;  $L_x$  – участок разгрузки конвейера, принимаемый 200 мм.

$$S_{max} = 1,05 \cdot \{2000 + 0,06[(640 + 0,273) \cdot 0,2 + 640 \cdot 0,2]\} = 2110 \text{ Н}$$

По указанному значению выбираем цепь и двигатель.

В качестве тягового органа принимаем две цепи пластинчатые с гладкими катками по ГОСТ 588-81 М20 с разрушающей нагрузкой 20 кН и шагом 80 мм.[8]

Потребляемая мощность электродвигателя при общем КПД передаточных механизмов привода  $\eta=0,75$  и коэффициенте запаса  $K_z=1$ :[6]

$$N = \frac{S_{max} \cdot V}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (6)$$

Таким образом мощность двигателя:

$$N = \frac{2110 \cdot 0,4}{1000 \cdot 0,75} = 1,12 \text{ кВт}$$

Частота вращения приводной звездочки:

$$n = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_{зв}}, \text{ об/мин} \quad (7)$$

Где  $D_{зв}$  – диаметр приводной звездочки, регламентируемый ГОСТ 592-81 и принимается 366 мм.[9]

$$n = \frac{60 \cdot 0,4}{\pi \cdot 0,366} = 20 \text{ об/мин}$$

Крутящий момент равен:

$$M_{кр} = \frac{S_{max} \cdot D_{зв}}{2}, \text{ Нм} \quad (8)$$

$$M_{кр} = \frac{2110 \cdot 0,336}{2} = 354 \text{ Нм}$$

Таким образом выбираем мотор-редуктор марки МЦ2С-63 номинальной мощностью 1,5 кВт, с крутящим моментом на выходном валу равным 445 Нм, с частотой вращения 28 об/мин.

#### 4.4 Описание разработанной конструкции пластинчатого конвейера

Пластинчатый конвейер (15.04.02.198.01.00.00 СБ) представляет собой узел вала ведущего 3 (15.04.02.198.01.03.00 СБ) и узел вала ведомого 2 (15.04.02.198.01.02.00 СБ) закрепленных на раме 1. Кинематическая связь узлов вала ведущего и ведомого осуществляется посредством транспортирующей цепи 5. Цепи для исключения провисания и заклинивание пластин поддерживаются двутаврами 6, расположенных на опорах 4. Регулирование натяжения цепи осуществляется двумя нажимными винтами 10, воздействующих на обоймы узла ведомого вала.

Привод опорного ролика включает мотор-редуктор 4МЦ2С-63 мощностью 1,5 кВт и частотой вращения 28 мин<sup>-1</sup>, а также муфту упругую втулочно-пальцевую (МУВП) 6. Привод опорного ролика также установлен на раме 1.

Пластинчатый транспортер работает следующим образом.

Мотор-редуктор передает крутящий момент через муфту на ведущий вал. На валу установлены две звездочки, сопрягаемых шпонкой. Звездочки преобразуют вращательное движение в прямолинейное.

## 5 РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИНЧАТОГО ТРАНСПОРТЕРА НА ПРОЧНОСТЬ

### 5.1 Расчет ведомого вала на прочность

#### 5.1.1 Определение размеров вала

Перед проведением прочностных расчетов необходимо конструктивно выбрать геометрические параметры вала. Геометрические параметры вала указаны на рисунке 8.

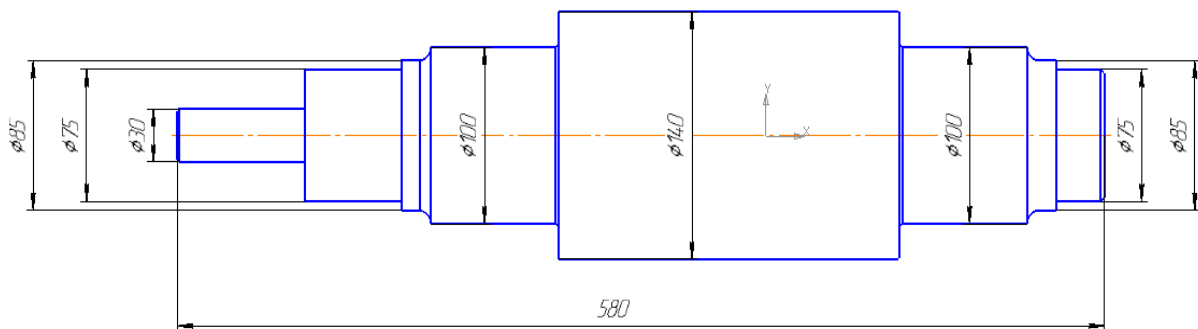


Рисунок 8 – Эскиз вала ведущего

#### 5.1.2 Определение схемы нагружения

Данный расчет производим в целях предупреждения пластических деформаций в период действия кратковременных перегрузок, а именно в момент пуска и торможения. Схема к расчету приводного ролика представлена на рисунке 9.

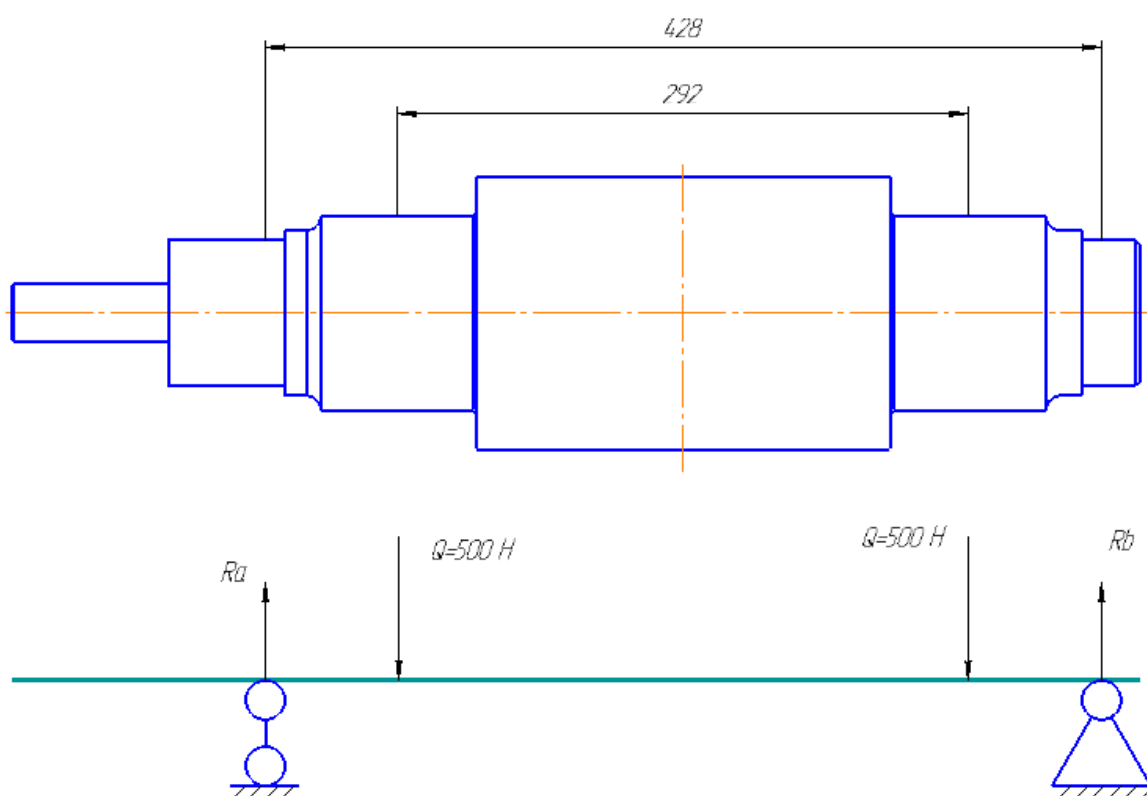


Рисунок 9 – Схема к расчету

Усилия принимаются равными исходя и собственного веса звездочки (см. 15.04.02.198.01.02.07) и максимально возможного веса получаемых поковок на кривошипном горячештамповочном прессе усилием 16 МН. Максимально возможная масса поковок приближенно принимается 30 кг, следовательно, при установке поковки со смещением на одну звездочку усилие составит 500Н.

### 5.1.3 Результаты расчета

Для определения напряжения в опасных сечениях воспользуемся методом моделирования и расчета в программе SolidWorks. Для расчета на прочность детали необходимо с помощью САД системы, встроенной в интерфейс пользователя, смоделировать деталь, указать места для установки подшипников, приложить усилия и крутящий момент от двигателя. Схема моделирования вала в программе SolidWorks показана на рисунке 10.

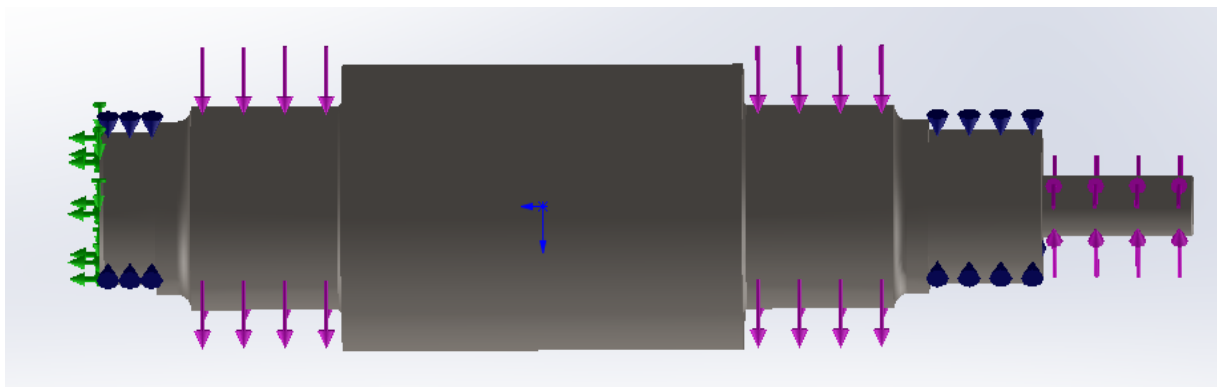


Рисунок 10 – Приложенные усилия

Расчет напряжения осуществляется посредством модуля SolidWorks Simulation. Результаты расчета приведены на рисунках 11, 12, 13.

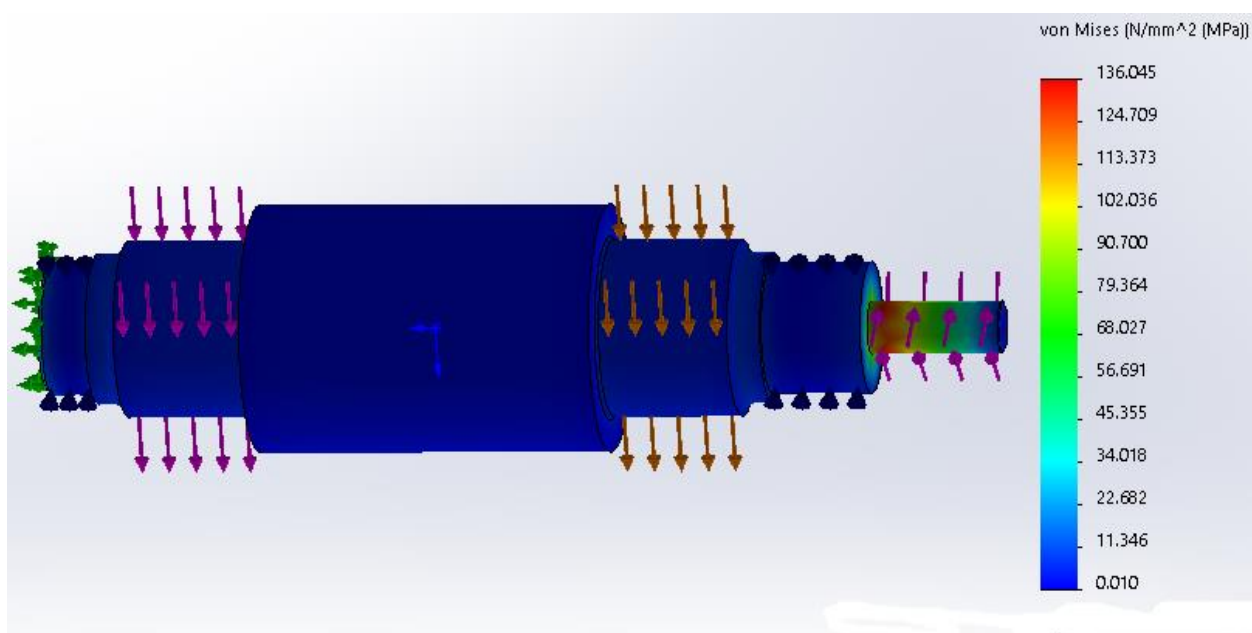


Рисунок 11 – Эквивалентные напряжения в опасных сечения.

Как видно из рисунка 11 самые большие напряжения под действием усилий и крутящего момента возникают в хвостовике вала.

Для выбора материала необходимо соблюдение следующего условия:

$$\frac{[\sigma]_B}{[n]} \geq \sigma_{\text{эк}} \quad (9)$$

Где  $[\sigma]_B$  – временное сопротивление материала ролика равный 900 МПа [4] для стали марки 45ХН,  $[n]$  – запас прочности равный 5.

Отсюда получаем:



$$\frac{900}{5} \geq 136$$

Как видно из уравнения условие прочности соблюдается, фактический запас прочности  $[n]=6,61$ .

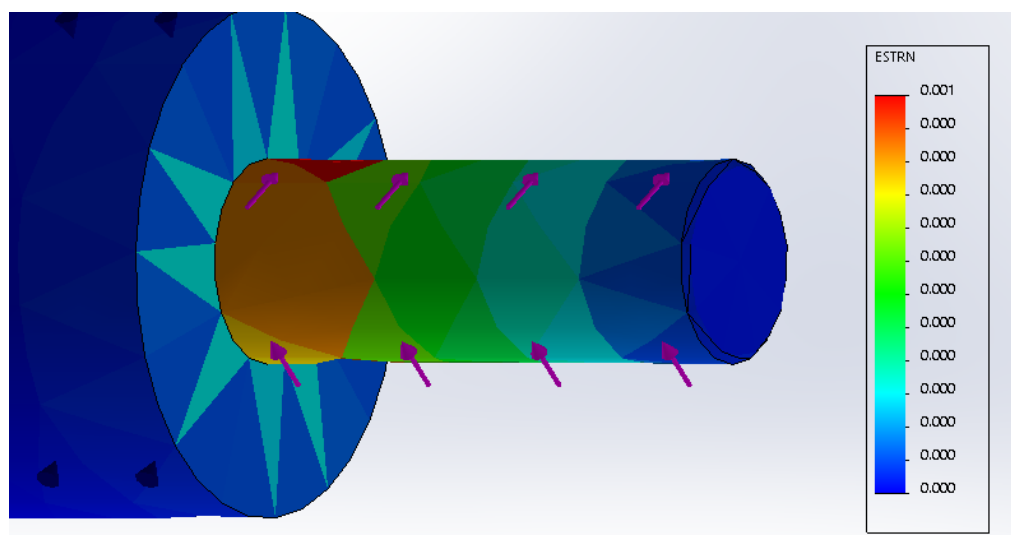


Рисунок 12 – Деформация хвостовика

Как видно из рисунка 12 при заданных величинах усилий и крутящего момента деформация составит 0,001 мм, что на конструкцию узла ведущего вала (см.15.04.02.198.01.03.00.00 СБ) не окажет влияния.

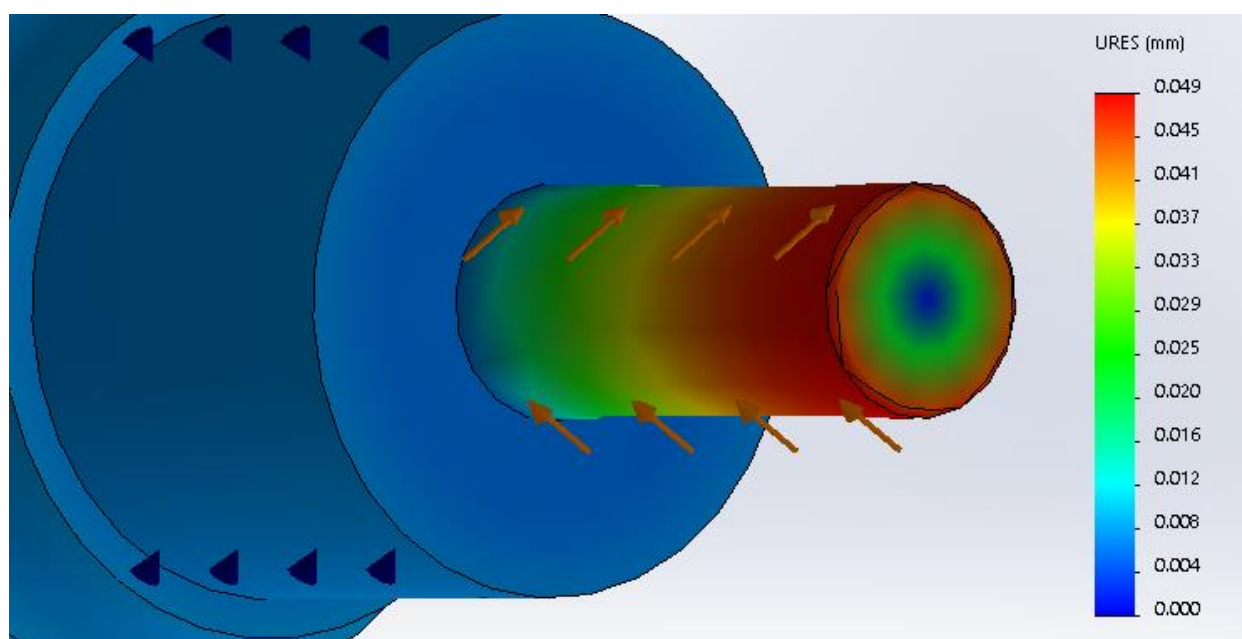


Рисунок 13 – Перемещение вала

Исходя из полученных результатов по расчету в модуле SolidWorks Simulation геометрические параметры вала удовлетворяют условиям прочности.

## 5.2 Выбор подшипников качения

Так как подшипниковые опоры будут воспринимать только радиальные нагрузки, то в качестве расчетного выбираем шариковый радиальный подшипник 115 (ГОСТ 8338-75)

Номинальная долговечность в часах:

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (10)$$

где  $C$  — динамическая грузоподъемность,  $C = 39700$  Н [9];

$p$  — показатель степени: для шарикоподшипников  $p = 10/3$ ; [10]

$n$  — частота вращения ролика,  $n = 28$  мин<sup>-1</sup>;

$P$  — эквивалентная нагрузка для однорядных подшипников. [10]

$$P = F_r V K_G K_T \quad (11)$$

где  $F_r$  — нагрузка на подшипник,  $F_r = R_A = 501$  Н,

$K_G$  — коэффициент безопасности,  $K_G = 1,0$  [6]

$K_T$  — температурный коэффициент,  $K_T = 1,0$  [6]

$V$  — коэффициент вращения; при вращении наружного кольца  $V = 1,0$ ; [10]

$$P = 501 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 500 \text{ Н};$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 28} \left( \frac{39700}{501} \right)^{\frac{10}{3}} = 2,96 \cdot 10^7 \text{ ч.}$$

## 6 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА

### 6.1 Годовой план производства участка

Годовая программа выпуска ( $Q_B$ ) на проектном участке составляет 160000 шт. поковок в год (таблица 8.1). Рассматриваемая деталь-представитель имеет программу выпуска 40000 шт. в год.

Расчет программы запуска производится по следующей формуле [11]:

$$Q_3 = Q_B \cdot (1 + \beta), \quad (12)$$

где:  $\beta$  – коэффициент, учитывающий возможный брак при производстве изделий,  $\beta=1\%$  или  $\beta=0,01$ ;

$Q_B$  – годовая программа выпуска.

Таблица 4 – Номенклатура поковок проектируемого участка и их годовая программа

Деталь	Маркировка	Материал	Программа выпуска, шт	Программа запуска, шт
Фланец	1-15-10	Сталь 20 Сталь 25 Сталь 30 09Г2С	40000	40400
Фланец	1-15-16	Сталь 20 Сталь 25 Сталь 30 09Г2С	40000	40400
Фланец	1-15-25	Сталь 20 Сталь 25 Сталь 30 09Г2С	40000	40400
Фланец	1-15-40	Сталь 20 Сталь 25 Сталь 30 09Г2С	40000	40400
Итого			160000	161600

### 6.2 Потребность в производственном оборудовании

Необходимое количество оборудования в линии определяется следующей формулой: [11]

$$N = \frac{T_{\text{ст}}}{\Phi_{\text{эо}} \cdot (1 - K_{\text{н}}) \cdot K_{\text{д}}}, \quad (13)$$

где:  $T_{\text{ст}}$  – годовая технологическая станкоёмкость операций всей номенклатуры изделий, изготавливаемых на данном типе оборудования;

$\Phi_{\text{эо}}$  – эффективный годовой фонд времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{н}}$  – коэффициент, учитывающий потери времени работы оборудования, вызванного переналадками в рабочее время,  $K_{\text{н}} = 0,05$  или 5%;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент допустимой загрузки оборудования, принимают  $K_{\text{д}} = 85\%$  или 0,85. [11]

Расчет  $T_{\text{ст}}$ , ведется по деталям для каждой группы номенклатуры участка, но т.к. штучное время операции  $T_{\text{шт}}$  рассматриваемой детали приблизительно равно  $T_{\text{шт}}$  для деталей всей номенклатуры участка (детали имеют одинаковый технологический процесс), то  $T_{\text{ст}}$  участка можно определить по формуле: [11]

$$T_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{з}} \cdot T_{\text{шт}}}{60}, \quad (14)$$

где:  $Q_{\text{з}}$  – годовая программа запуска участка,  $Q_{\text{з}} = 161600$  шт.;

$T_{\text{шт}}$  - штучное время операции,  $T_{\text{шт}} = 0,52$  мин (определено в разделе 6.16).

$$T_{\text{ст}} = \frac{161600 \cdot 0,625}{60} = 1683,3 \text{ ст/ч}$$

Определим  $\Phi_{\text{эо}}$  для линий с КГШП 16 МН [11]:

$$\Phi_{\text{эо}} = (D_{\text{р}} \cdot t_{\text{см}}) \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (15)$$

где:  $D_{\text{р}}$  – число рабочих дней в году, принимаем  $D_{\text{р}} = 246$  дней;

$t_{\text{см}}$  – продолжительность рабочей смены,  $t_{\text{см}} = 8$  ч;

$K_{\text{с}}$  – число смен в сутки,  $K_{\text{с}} = 2$  см;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент учитывающий простой оборудования,  $K_{\text{п}} = 0,93$ .

$$\Phi_{\text{эо}} = (246 \cdot 8) \cdot 2 \cdot 0,93 = 3660,5 \text{ ч}$$

$$N = \frac{1683,3}{3660,5 \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,85} = 0,6$$

Согласно расчету принимаем один КГШП 16МН.

Следовательно, для изготовления, проектируемым технологическим процессом, годовой программы поковок необходима одна линия, имеющая в своем составе:

- 1) Индукционный нагреватель;
- 2) КГШП КБ8542;
- 3) Промышленный робот KUKA KR 120 R3900 ULTRA K
- 4) Транспортер пластинчатый
- 5) Обрезной пресс 1,6 МН.

Данный состав оборудования в линии соответствует предлагаемой технологии изготовления поковки «Фланец».

### 6.3 Расчет численности основных рабочих

К производственным рабочим относятся все работающие, выполняющие технологические операции по изготовлению заготовок, полуфабрикатов и готовой продукции. Численность производственных рабочих  $L$  определяется по числу бригад  $L_{\Pi}$ : [18]

$$L = N \cdot L_{\Pi}, \quad (16)$$

где:  $N$  – численность бригады (количество рабочих, одновременно обслуживающих одну линию).

$L_{\Pi}$  – определяется округлением расчетного числа бригад  $L_{\Pi}^P$  до ближайшего большего целого: [11]

$$L_{\Pi}^P = \frac{(1 + \alpha) \cdot T_{\text{ст}}}{k_{\text{в.н.}} \cdot k_{\text{д.р.}} \cdot \Phi_{\text{э.о.}}} \quad (17)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий плановые невыходы на работу,  $\alpha = 0,05$ ;

$k_{\text{в.н.}}$  – коэффициент перевыполнения нормы,  $k_{\text{в.н.}} = 1$ ;

$k_{\text{д.р.}}$  – коэффициент допустимой занятости рабочего,  $k_{\text{д.р.}} = 0,95$ ;

$\Phi_{\text{э.р.}}$  – годовой эффективный фонд времени рабочего,  $\Phi_{\text{э.р.}} = 1610$  ч.

$$L_{\Pi}^P = \frac{(1 + 0,05) \times 1683,3}{1 \times 0,95 \times 1610} = 1,15.$$

Округляем  $L_{\Pi}^P$  до 2, следовательно число бригад – 2. Численность бригады – 2 человека (нагревальщик, маркировщик).

$$L = 4 \times 2 = 4$$

Таким образом на линии основных рабочих будет 6 человека.

## 6.4 Планировка участка цеха

Чертеж плана цеха выполняют в масштабе 1: 200, 1: 500 или меньшем из расчета, чтобы он располагался не более, чем на 2–3 листах формата А1. Он должен содержать: сетку координационных осей здания; контуры здания и толщины стен со всеми проемами; расположение основного технологического и вспомогательного оборудования.

Работу над планом цеха начинают с вычерчивания сетки координационных осей здания штрих-пунктирными линиями с длинными штрихами. Рядам колонн присваивают буквенные марки, используя заглавные буквы русского алфавита (за исключением букв З, И, О, Х, Ц, Ч, Ш, Ы, Ъ, Ь), а колоннам вдоль рядов — цифровые. Марки размещают в кружках. Последовательность маркировки принимают слева направо и снизу вверх. Рядам колонн поперечных пролетов присваивают буквенные, а колоннам вдоль рядов — цифровые марки со штрихами.

В узлах сетки схематично наносят сечения колонн, а по обводу колонн крайних рядов условно наносят стену здания. На чертеже проставляют размеры всех пролетов в миллиметрах, а также суммарный размер, указывающий ширину многопролетного здания. Шаг колонн указывают однократно, а длину пролетов записывают в виде  $(n - 1) \cdot Ш = L$ , где  $L$  — длина пролета, мм;  $n$  — число колонн в ряду;  $Ш$  — шаг колонн, мм.

После вычерчивания сетки координационных осей на план наносят разбивочные оси оборудования — продольные, совпадающие с наибольшей протяженностью агрегатов, и поперечные для каждой машины (установки), агрегата. Между поперечными осями проставляют размеры, а одну из поперечных осей и продольную ось привязывают размерами к сетке координационных осей.

В правом нижнем углу чертежа над основной надписью помещают экспликацию (таблицу составных частей) технологического оборудования. В нее включают только элементы первой ступени вхождения в комплекс механического оборудования цеха.

Для характерных мест цеха делают разрезы. Чертеж разреза выполняют в масштабе, как правило, в два раза более крупном, чем план цеха. На разрезе указывают координационные оси здания; схематическое изображение колонн и ферм покрытия; контуры оборудования, попадающего в разрез.[12]

План участка горячей штамповки показан на чертеже 15.04.02.198.00.00.00.

## 6.2 Производственное здание

Участок размещается в одноэтажном производственном здании второй степени долговечности (не менее 80 лет). Высота здания цеха 24000 мм, ширина цеха 24000 мм. Колонны одноэтажного производственного здания могут быть железобетонными и стальными. Крайние колонны – у крайних продольных рядов, средние колонны – у средних продольных рядов. Колонны для пролетов с мостовыми кранами имеют консоли и площадки для подкрановых балок.

В здании стальные колонны ступенчатые переменного по высоте сечения. Шаг колонн 6000 мм. Фундамент под колонны делают из сборного или монолитного железобетона. Глубина заложения фундамента колонн зависит от характеристики грунта, нагрузок, расстояния от фундамента колонн до фундамента оборудования.

Подкрановые балки изготавливают из стали. Железобетонные подкрановые балки не изготавливают из-за их недолговечности. Подкрановые балки крепят к консолям колонн болтами. Подкрановые рельсы к подкрановым балкам крепят болтами с помощью прижимных планок.

Стропильные фермы служат для поддержания покрытия и восприятия действующих на них нагрузок. Они могут быть железобетонными и стальными. В нашем здании стальные стропильные фермы.

## 7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

Автоматизация производства представляет собой этап машинного производства, который характеризуется освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления производственными процессами и передачей этих функций специальным устройствам. Автоматизация позволяет повысить производительность штамповочного оборудования за счет сокращения цикла штамповки, высвободить рабочих за счет интенсификации технологии штамповки, проведения на одном агрегате максимально возможного числа операций, улучшить качество и точность поковок за счет стабилизации технологического процесса, повысить безопасность труда. Автоматизация и механизация технологических процессов горячей объемной штамповки развивается как путем оснащения средствами механизации и автоматизации универсального оборудования, которое совместное другим оборудованием может образовывать механизированные и автоматизированные линии, так и за счет применения специализированных горячештамповочных машин-автоматов. Выбор метода определяется масштабом производства поковок, номенклатурой деталей, закрепленных за линией (машиной), индивидуальными особенностями деталей и технологических процессов штамповки[3].

Средства автоматизации предназначены для перемещений заготовки и поковки:

1. Перемещение заготовки из нагревательной печи в зону штамповки для осадки.
2. Перемещение поковки из зоны штамповки для осадки на предварительную штамповку.
3. Перемещение поковки из зоны предварительной штамповки на окончательную штамповку.
4. Перемещение поковки с окончательной штамповки на транспортер.

План размещения оборудования представлен на рисунке 14.



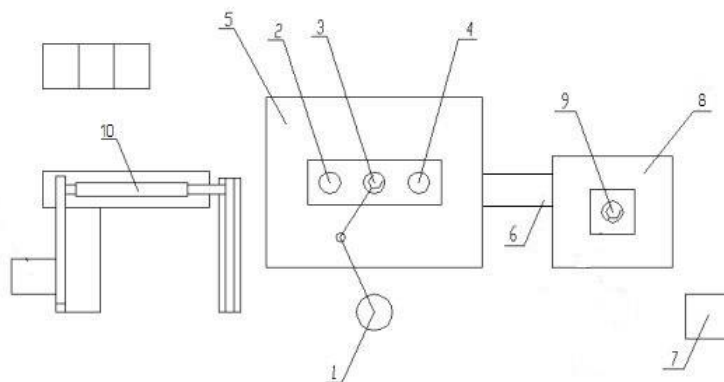


Рисунок 14 – План расположения

где 1 – робот, 2 – осадка, 3 – предварительная штамповка, 4 – окончательная штамповка, 5 – КГШП, 6 – транспортер, 7 – коробка для готовых изделий, 8 – об-резной пресс, 9 – маркировка, 10 – КИН

Робот предназначен для 4-х операций: для перемещения заготовки из нагрева-тельной печи в зону штамповки для осадки; для перемещения поковки из зоны для осадки в зону предварительной штамповки; для перемещения поковки из зоны предварительной штамповки в зону окончательной штамповки; для перемещения поковки с КГШП на транспортер.

Для автоматизация процесса горячей штамповки выбран промышленный робот KUKA KR 120 R3900 ULTRA K, техническая характеристика которого указана в таблице 5. [13]

Таблица 5 – Техническая характеристика промышленного робота

Наименование параметра	KUKA KR 120 R3900 ULTRA K
Радиус действия, мм	3901
Максимальная нагрузка, кг	120
Точность позиционирования, мм	0,06
Количество осей, шт	6
Габариты стола, мм x мм	830x830
Масса, кг	1221

Рабочая зона робота представлена на рисунке 15.

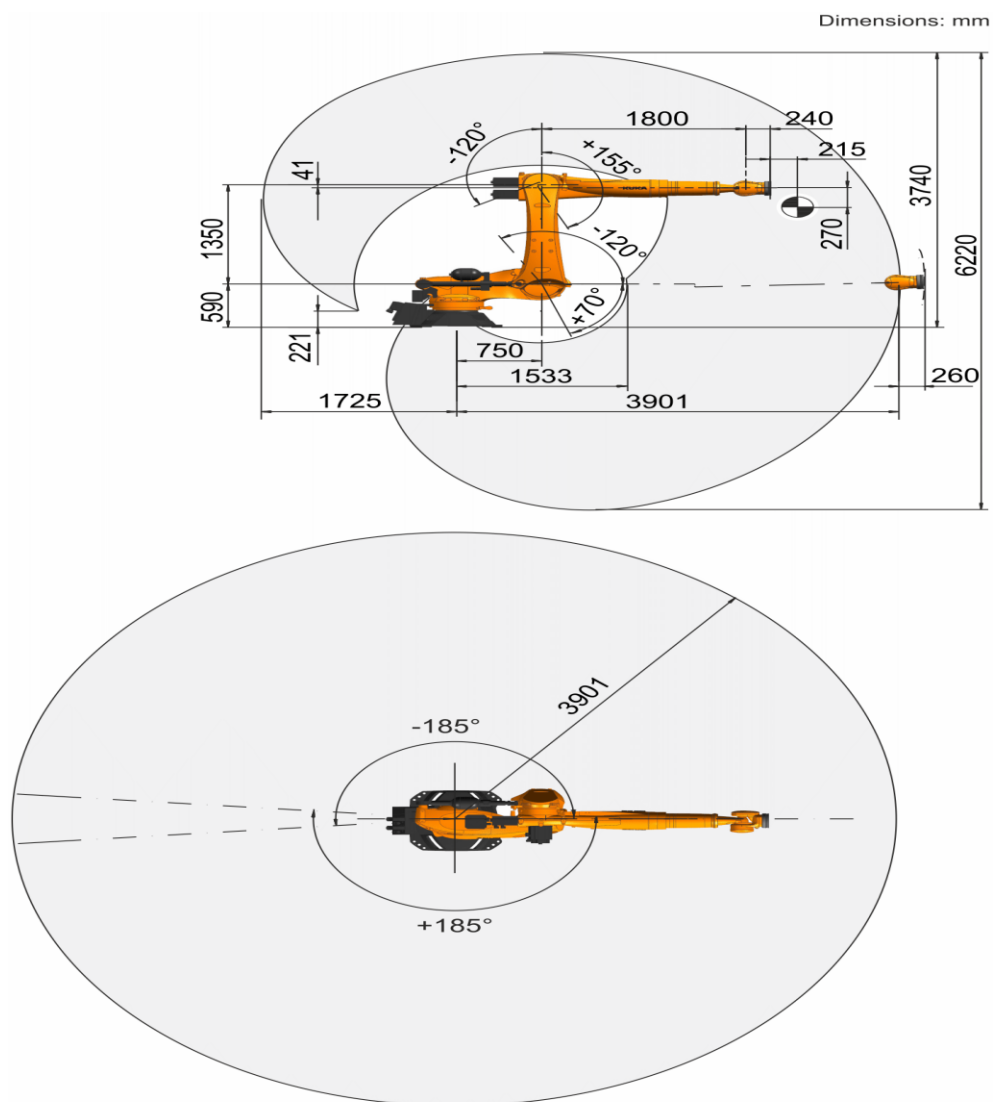


Рисунок 15 – Рабочее пространство робота

Алгоритм работы робота и пресса представлен в приложении А.

Алгоритм работы построен следующим образом:

- 1 При выдаче заготовки срабатывает терморпара.
- 2 Подается сигнал на центральный процессор (далее ЦП) робота.
- 3 Робот перемещается из начальной координаты в зону выдачи заготовки из индуктора.
- 4 Термодатчик расположенный в зоне захвата подает сигнал на ЦП, производится захват заготовки и манипулятор робота переносит заготовку в зону осадки.
- 5 После выхода манипулятора из зоны штампового пространства датчик захвата движения совместно с пирометром пресса 1, отвечающего за слежение попадания

заготовки во вставку для осадки, подают команду на выключение тормоза прессы и включения муфты прессы.

6 После рабочего хода прессы концевой выключатель подает сигнал на ЦП робота, сигнал на выключение муфты и включения тормоза прессы.

7 Манипулятор робота перемещается в зону осадки, производит захват осаженной заготовки и перемещает ее в зону предварительной штамповки.

8 Процесс автоматизация предварительной штамповки и окончательной штамповки происходит аналогично пунктам 3, 4, 5, 6.

9 По завершению окончательной штамповки готовая поковка переносится на транспортер, подается команда на толкатель заготовок, и процесс повторяется.

Для измерения температуры и подачи сигнала на ЦП робота используется термопара WKA, модель которой указана на рисунке 16. Она подходит для измерения высоких температур до 1700 °С. Конструкция термопары очень устойчива к высоким вибрационным нагрузкам. [14]



Рисунок 16 - Термопара

Аналогичная термопара устанавливается на захватный механизм манипулятора робота.

Для контроля температуры заготовки в зоне ручьев штампа в станину прессы монтируются стационарные пирометры LumaSense IMPAC IMPAC IGA 320/23-LO.

Компактный цифровой оптоволоконный коротковолновый инфракрасный пирометр для бесконтактного измерения температуры объектов металлических поверхностей, графита и керамики и т.д. в диапазоне от 100 до 1200°C. Аппарат оснащен сменными оптическими головками. Волоконная и оптическая головки не подвержены влиянию электромагнитного излучения (например, индукции) и могут использоваться при высоких температурах до 200°C без необходимости осуществления дополнительного охлаждения. Направляющая светодиодная подсветка позволяет выполнять точное выравнивание на измеряемом объекте. Данная подсветка работает автоматически и может использоваться во время измерения. Области применения пирометров LumaSense IMPAC IGA 320/23-LO — это предварительный нагрев, отжиг, закалка, сварка, ковка, затверждение, обжиг, плавка, пайка, высокотемпературная пайка и прокат.[15]

## 8 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

### 8.1 Определение базовых показателей технологии

Для определения целесообразности проекта и расчета экономических показателей за основу возьмем существующих технологический процесс и предлагаемый.

Базовая технология представляет собой технологический процесс, включающий в себя такие операции как отрезка проката на сортовых ножницах, нагрев в пламенной печи, осадка, штамповка в предварительном ручье, штамповка в окончательном ручье, обрезка облоя, маркировка.

Сравнение показателей приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Экономические показатели

Название показателя	Количественная характеристика базовой технологии	Количественная характеристика предлагаемой технологии
Масса детали, кг	0,76	0,76
Масса поковки, кг	1,05	1,05
Объем поковки, мм <sup>3</sup>	133609,46	133609,46
Объем угара, мм <sup>3</sup>	2672,18	801,6
Объем облоя, мм <sup>3</sup>	26114,38	-
Масса облоя	0,2	-
Объем заготовки, мм <sup>3</sup>	162396	
Масса заготовки, кг	1,27	1,1
Норма расхода, кг	1,2	1,04
Коэффициент использования металла, %	82,6	95,4

Как видно из результатов таблицы 1 низкими показателями являются коэффициент использования металла и повышенная норма расхода металла к готовой поковке.

Реализация проекта рассчитана на 3 года. Годовая норма выпуска деталей 161600 шт, следовательно, за 3 года будет произведено 484800 шт.

## 8.2 Материальные затраты

Исходными данными для расчетов потребности в материальных ресурсах служит проектный выпуск продукции, а также нормативная база потребностей в материальных ресурсах (нормы расхода материалов, энергоносителей, действующие цены и тарифы,).

Сравнение экономических показателей приведено в таблице 7.

Таблица 7 – Экономические показатели

Название показателя	Количественная характеристика базовой технологии	Количественная характеристика предлагаемой технологии
Масса металла для производства, тонн	616	533
Затраты на металл, руб	25 872 000	22 386 000

Расчет массы металла для производства определяем по следующей формуле:

$$M = n \cdot R, \text{ тн} \quad (18)$$

Где  $n$  – количество поковок,  $R$  – норма расхода.

Затраты на металла определяем по следующей формуле:

$$P = R \cdot C, \text{ руб} \quad (19)$$

Где  $C$  – цена металла за 1 тонну, равная 42000 руб.

Таким образом, экономический эффект от внедрения технологии закрытой штамповки составит 3 486 000 руб.

Оплата труда рабочим определяется по следующей формуле:

$$Z = a \cdot b \cdot c \cdot d, \text{ руб} \quad (20)$$

Где  $a$  – количество рабочих часов равное 16 ч,  $b$  – количество рабочих дней равное 246 дней,  $c$  – тарифная ставка работающих равная 150 р/ч,  $d$  – количество работающих людей в сменах.

Таким образом оплата труда в год для двух бригад, состоящих из нагревальщика и двух штамповщиков составляет:

$$Z = 16 \cdot 246 \cdot 150 \cdot 6 = 3\,542\,400 \text{ руб}$$

Оплата труда для двух бригад состоящих из нагревальщика, работа и штамповщика составляет.

$$Z = 16 \cdot 246 \cdot 150 \cdot 4 = 2\,361\,600 \text{ руб}$$

Следовательно внедрение робота в производство принесет экономию в размере 1 180 800 рублей в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе представлен анализ современного состояния производства деталей трубопроводной арматуры.

Спроектирован участок по производству заготовок методом горячей объемной штамповки.

Разработана конструкция пластинчатого конвейера для перемещения поковок.

Рассчитан на прочность вал в программе SolidWorks.

Приведен алгоритм автоматизация процесса горячей объемной штамповки.

Рассчитаны основные экономические показатели разработанного участка.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Российское арматуростроение – <http://www.npa-arm.org>
- 2 Семенов, Е.И. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985 – Т.2. Ковка и штамповка/Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 592с., ил..
- 3 Индукционный нагреватель –  
[http://www.ztvch.ru/oborudovanie/kuznechnyie\\_induktsionnyie\\_nagrevateli\\_kin](http://www.ztvch.ru/oborudovanie/kuznechnyie_induktsionnyie_nagrevateli_kin)
- 4 КГШП – <http://www.stanki-snab.ru/goryacheshtampovochnye-pressy>
- 5 Пресс КВ 2132 - [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_kv2132.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_kv2132.htm)
- 6 Спиваковский А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1983. – 492 с
- 7 ГОСТ 22281-76. Конвейеры пластинчатые стационарные общего назначения. Государственный стандарт союза СССР. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 9 с.
- 8 ГОСТ 592-81. Звездочки для пластинчатых цепей. Методы расчета и построения профиля зубьев. Предельные отклонения. Государственный стандарт союза СССР. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 14 с.
- 9 ГОСТ 8338-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. Государственный стандарт союза СССР. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 11 с.
- 10 Дунаев, П.Ф. Детали машин. Курсовое проектирование / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 5 изд. – М.: Машиностроение, 2004. – 560 с.
- 11 Шехтер В. Я Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов: Учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / В.Я. Шехтер. — М.: Высш. шк., 1991. — 367 с: ил.
- 12 Коваль, Г.И. Проектирование предприятий и цехов металлургического производства: учеб-ное пособие / Г.И. Коваль. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – 117 с.
- 13 Промышленный робот - <https://www.kuka.com/ru-ru/kr-quantec-ultra>
- 14 Термопара - [https://www.wika.ru/products\\_thermocouples\\_ru\\_ru.WIKA](https://www.wika.ru/products_thermocouples_ru_ru.WIKA)

15 Пирометр - <http://diagnost.ru/shop/pirometry-serii-300/statsionarnyj-pirometr-lumasense-impac-iga-320-23-lo>