Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Институт Новых материалов и технологий
Департамент Металлургии и металловедения
Кафедра «Обработка металлов давлением»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Зав. кафедрой
«Обработка металлов давлением»

_____ Д.Л. Шварц
(подпись) (Ф.И.О.)

«_____»_____2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА «РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ В УСЛОВИЯХ ООО «НЛМК-МЕТИЗ»

Пояснительная записка
22.03.02.000513.00 ПЗ

Руководитель
доцент, к.т.н. С.О. Непряхин

Нормоконтролёр
доцент, к.т.н. Г.В. Шимов

Студент
гр. НМТ3-552211 Д.В. Урцев

Екатеринбург
2020

РЕФЕРАТ

В данной работе рассматривается конструкция и прочностные характеристики многократного стана грубого волочения без скольжения фирмы KOCH GMBH & CO.KG (Германия) KGT 2500, расположенного и действующего на территории ООО «НЛМК-Метиз», город Березовский. А также, производится расчет на прочность основных элементов стана. В частности, выполнен расчет схемы усилий, возникающих в процессе работы червячной передачи, расчет на прочность вала червяка, а также вала червячного колеса. Выполнены расчеты маршрута волочения проволоки, определены энергосиловые параметры процесса волочения и значения коэффициента запаса в каждом проходе.

С. 53., рис. 11, табл. 8, библ. 5 наим.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....4

1. ВОЛОЧЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ В УСЛОВИЯХ «НЛМК – МЕТИЗ».....8

1.1. Организационная структура сталепроволочного цеха.....8

1.2 Сортамент проволоки.....13

2. ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО ЦЕХА.....17

2.1 Характеристика технологического оборудования.....17

2.2 Волочильный инструмент.....23

3. РАСЧЕТ МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ.....27

3.1 Маршрут волочения проволоки.....27

3.2 Выбор диаметра калибрующей зоны волоки.....30

4.РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СТАНА МНОГОКРАТНОГО ВОЛОЧЕНИЯ KGT 2500.....34

4.1. Исходные данные для расчета червячного редуктора.....34

4.2. Расчет элементов червячного редуктора.....37

4.3. Расчет вала червяка.....41

4.4. Расчет вала червячного колеса.....45

4.5. Расчет на прочность призматической шпонки.....49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....52

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....53

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является изучение конструкции и прочностных характеристик, а также описание технологического назначения многократного стана грубого волочения без скольжения фирмы KOCH GMBH & CO.KG (Германия) KGT 2500, расположенного и действующего на территории ООО «НЛМК-Метиз», город Берёзовский.

НЛМК-Метиз - предприятие дивизиона «Сортовой прокат Россия» Группы НЛМК. Специализируется на выпуске проволоки и крепежных изделий. Предприятие является одним из крупнейших производителей низкоуглеродистой метизной продукции в России. Завод расположен в городе Березовском Свердловской области.

Понятие «прецизионные сплавы» осталось в прошлом. Последний прецизионный сплав был выплавлен в январе 2006 года. Но именно потребность оборонной, космической и атомной, электронной и медицинской промышленности страны в 60-70-е годы XX столетия в этих сплавах и послужила отправной точкой рождения металлургического завода в Берёзовском. Решение о его строительстве было принято правительством СССР ещё в 1960 году. Была выбрано место для будущего завода так и началось строительство, появились цеха. 6 ноября 1976 года в экспериментальном цехе была проведена первая обжиговая плавка на индукционной печи. Именно этот день считается днём рождения «УРАЛЬСКОГО ЗАВОДА ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ» (далее УЗПС).

За свою историю предприятие много раз меняло направление своей деятельности. В 2000 году началось производство катанки из труднодеформируемых сплавов стали и сортового проката. А с 2004 года компания начала работы по модернизации и установке нового оборудования. Также компания отказалась от производства холоднокатаной ленты и горячекатаной полосы. С этого момента основная специализация компании -

производство металлических изделий, так называемых метизов. Сегодня бывший УЗПС входит в Группу компаний Новолипецкого металлургического комбината, одну из крупнейших и самых успешных металлургических компаний в мире. Имеет новое название «НЛМК-Метиз». Производство оснащено современным оборудованием ведущих европейских производителей – «Koch», «Mario Frigerio», «Team Meccanica», «Fib», «EBNER», « WAFIOS». Благодаря новейшим технологиям и оборудованию от ведущих мировых производителей, продукция предприятия соответствует самым современным требованием качества и обладает перспективными свойствами, необходимыми строительной отрасли.

Наиболее востребованной продукцией завода стали различные виды проволоки для армирования железобетонных конструкций ВР-1, оцинкованная, сварочная, а также строительные гвозди, крепёжные изделия-винты самонарезающие для гипсокартона, для дерева и т.д.

Предприятие постоянно работает над выпуском новых видов продукции. Параметры завода и оборудование цеха делают его одним из самых современных и высокотехнологичных в России.

На данное время самым масштабным производством на заводе является волочение проволоки, осуществляемое волочильных станах от германских и итальянских производителей.

Волочильными станами называются машины, служащие для обработки металлов волочением, т. е. протягиванием металлических заготовок через отверстия, размеры которых меньше размеров сечения заготовок исходного материала. Вследствие этого у заготовок, подвергающихся обжатию, изменяются профиль и размеры поперечных сечений и одновременно с этим увеличивается их длина. Этот способ обработки металлов при изготовлении изделий круглого и фасонного сечений обеспечивает высокую точность профиля и чистоту поверхности. Кроме того, при холодном волочении

значительно повышаются предел текучести и прочности, а также твердость протягиваемого металла. Продукция волочильного производства находит широкое применение во многих отраслях промышленности и народного хозяйствам. За последние годы волочильные станы всех типов значительно усовершенствованы: повышена их производительность, улучшено качество поверхности выпускаемой продукции, увеличена стойкость волок, значительно улучшены условия техники безопасности. Новые станы оснащены контрольными приборами, а процессы волочения в значительной степени автоматизированы. Высокая стойкость волок особенно ценна при значительном увеличении скорости и волочении наитончайшей проволоки, к точности размеров диаметра которой предъявляют особо жесткие требования. Станы с наматыванием металла в бунты применяются главным образом для волочения проволоки некоторых специальных профилей и труб небольшого диаметра.

В зависимости от числа барабанов и характера их работы станы с наматыванием металла подразделяются на: а) однократные; б) многократные, работающие со скольжением; в) многократные, работающие без скольжения; г) многократные, работающие с противонатяжением.

В курсовом проекте проводится также исследование состава оборудования, технических характеристик и взаимодействие элементов стана в процессе его работы. Производится расчет на прочность основных элементов стана, таких как вал червячного колеса, а также выполняется расчет червячной передачи, включающий в себя схему усилий, возникающих в процессе работы червячной передачи. Данный тип расчета имеет важное значение поскольку зубчатая передача является наиболее ответственным узлом в блоке стана многократного волочения.

Наиболее нагруженными обычно бывают первые два блока стана, на которых протягивают наибольшие диаметры проволоки. Исходя из действующих крутящих моментов на первых блоках определяют требуемые

межосевые расстояния зубчатых передач. В данной курсовой работе из этих соображений для расчетов используется первый (тянущий) блок стана.

1. ВОЛОЧЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ В УСЛОВИЯХ «НЛМК – МЕТИЗ»

1.1. Организационная структура сталепроволочного цеха

Структура сталепроволочного цеха «НЛМК-Метиз» включает в себя:

- участок грубого волочения. Работники участка осуществляют работу по выпуску проволоки, контролю качества выпускаемой продукции, сбору образовавшихся отходов производства, учету расхода сырья, вспомогательных материалов и технологического инструмента;

- участок отделки проволоки. Работники участка осуществляют работу по выпуску оцинкованной, термически обработанной, колючей и калиброванной проволоки, контролю качества выпускаемой продукции, упаковке выпущенной продукции, контролю качества упакованной продукции, сбору образовавшихся отходов производства, учету расхода сырья, вспомогательных материалов и технологического инструмента;

- участок очистных сооружений. Работники участка осуществляют работу по приемке и обработке стоков, поступающих с цехов предприятия, контролю качества обработанных стоков, сбору образовавшихся отходов производства, учету расхода сырья, вспомогательных материалов;

- участок по изготовлению волок. Работники участка осуществляют работу по выпуску и обработке технологического инструмента, применяемого в процессах волочения и калибровки, контролю качества обработки технологического инструмента, сбору образовавшихся отходов производства, учету расхода сырья, вспомогательных материалов и технологического инструмента;

- участок готовой продукции. Работники участка осуществляют работу по приемке, складированию и отгрузке готовой продукции потребителям, контролю за соблюдением схем погрузки в автомобильном и железно дорожном транспорте, сбору образовавшихся отходов производства, учету

расхода сырья, вспомогательных материалов и технологического инструмента.

Состав и количество основного оборудования сталепроволочного цеха по участкам представлено в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Состав и количество основного оборудования сталепроволочного цеха

Наименование оборудования	Количество, шт
Участок грубого волочения	
Волочильный стан «Koch»	14
Волочильный стан «MF»	12
Волочильный стан «Sket»	3
Линия перемотки «MF»	2
Участок изготовления волок	
Полировально-горизонтальный станок	6
10 шпиндельный станок	1
Роботизированный станок для шлифовки волок "SKOB"	1
Участок отделки проволоки	
Линия отжига и цинкования «Fib»	2
Упаковочная машина	1
Колпаковая печь «Ebner»	3
Линия электрофосфатирования «M+E»	1
Автомат навивочный	4

Сортамент продукции, выпускаемый участком грубого волочения сталепроволочного цеха:

- ГОСТ 2246-70 Проволока стальная сварочная. Технические условия;

- ГОСТ 3282-74 Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения. Технические условия;

- ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия;

- СТО 55798700-001-2014 Проволока низкоуглеродистая периодического профиля класса Вр – 1 с цинковым покрытием. Технические условия;

- СТО 55798700-002-2014 Проволока сварочная термически обработанная Св-08Г2С. Технические условия;

- ТУ 0934-007-55791017-2011 Катанка из сварочных марок стали для перетяжки на проволоку. Технические условия;

- ТУ 1213-009-55798700-2012 Проволока периодического профиля класса Вр – 1. Технические условия;

- ТУ 1213-026-55798700-2009 Заготовка круглая холоднокатаная для дальнейшего передела;

- ТУ 1211-010-55798700-2013 Проволока для гвоздей.

При осуществлении технологического процесса в цеху предъявляются следующие основные требования к материалам и энергетическим ресурсам.

Заготовка:

- исходной заготовкой для волочения является катанка. Диаметр катанки 5,5; 6,5 и 7,0 мм;

- технические характеристики катанки должны соответствовать требованиям СТО 55791017-007 и ТУ 0934-007-55791017;

- катанка должна быть сухая. Перед использованием катанка должна не менее двух суток храниться в закрытом отапливаемом помещении при температуре воздуха не ниже плюс 15 ^{0}С и относительной влажности не выше 80 %;

- на каждом бунте катанки должны быть прикреплены две идентификационные бирки, соответствующие требованиям СТО 55791017-007 и ТУ 0934-007-55791017.

Технологический процесс волочения проволоки осуществляется с применением следующих основных материалов и инструментов:

- смазки и подсмазочных покрытий для волочения проволоки. При волочении проволоки для разделения трущихся поверхностей протягиваемого металла и волочильного инструмента используются сухие смазки. Для улучшения

захвата волочильной смазки на станах большой кратности используется водный раствор соли (подсмазочное покрытие). Выбор смазки и соли для волочения производить согласно действующим указаниям по применению смазок;

- волочение проволоки производится на твердосплавных волоках. Качество волок должно соответствовать требованиям ТИ 406-01-10. На первом и последнем блоке волочение производится с использованием сдвоенной волоки, на остальных блоках используются одинарные или сдвоенные волоки;

- для доочистки поверхности катанки от окалины на многократных волочильных станах применяются бесконечные шлифовальные ленты. Размеры ленты: длина - 1220 мм, ширина - 280 (300) мм. Величина абразивного зерна Р40, Р60;

- для упаковки проволоки применяется стальная лента. Технические требования к ленте должны соответствовать требованиям ТУ 1231-001-53831008, ТУ 1231-007-00190519, ТУ 14-4-1773, ТУ 123111-011-94835001 или другой НД, отвечающей требованиям контролируемых параметров. Временное сопротивление разрыву ленты должно составлять от 700 до 1000 Н/мм^2, а относительное удлинение не менее 2,0 %.

Характеристики энергоресурсов, используемых для грубого волочения, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Характеристики энергоресурсов, используемых для грубого волочения

Наименование Ресурса	Наименование характеристики	Значение
Электроэнергия	- напряжение, В - частота, Гц	380/220 50
Сжатый воздух	- давление, Мпа - качество	от 0,45 до 0,7 сухой и без масла
Оборотная вода	- давление на входе, МПа - температура воды на входе, ˚С - величина pH - жесткость, ммоль/дм^3, не более - качество	0,2 - 0,4 18 – 30 7 – 9 0,36 вода грубой фильтрации

Технические требования к товарной проволоке и проволоке, предназначенной для последующих переделов, приведены в технологических картах, технических условиях, стандартах организации, межгосударственных стандартах, спецификациях, технических требованиях, технических соглашениях.

Поверхность проволоки должна быть равномерного серого цвета, без царапин, рисок, коррозии.

Проволока на катушке должна быть намотана ровными не перепутанными рядами. Верхний конец проволоки на катушке должен быть надежно закреплен.

Все соединения катанки и проволоки должны выполняться сваркой.

1.2 Сортамент проволоки

Проволоку изготавливают из катанки марок Св-08, Св-08А, изготовленной по ТУ 0934-007-55791017 – 2011. Ее сортамент представлен в табл. 1.3.

Таблица 1.3 - Сортамент изготавливаемой проволоки

Диаметр катанки, мм	Диаметр проволоки, мм	Стандарт
5,5	1,2	ГОСТ 2246 – 70
	1,4	
	1,6	
	2,0	
	2,5	
	3,0	
6,5	4,0	
	4,4	
	5,0	
7,0	5,8	
	6,0	

Допускается изготовление проволоки промежуточных размеров, не указанных в табл. 1.3. Технические требования в этом случае должны соответствовать ближайшему наименьшему диаметру.

Качественный сварной шов при сварке плавлением невозможно получить, только расплавляя кромки свариваемого металла источником нагрева. При любом способе сварки плавлением необходимо применение сварочных материалов. К сварочным материалам относят: сварочную электродную проволоку, электроды плавящиеся покрытые, электроды

неплавящиеся, присадочные прутки, флюсы, защитные газы (инертные, активные, горючие, газовые смеси), порошковые присадочные материалы и др.

Применение сварочных материалов обеспечивает:

- требуемые геометрические размеры шва;
- защиту расплавленного металла (газовую, шлаковую или газошлаковую) в процессе расплавления, перенос электродного металла в дуге, пребывание в сварочной ванне, кристаллизацию и нагретого твердого металла от вредного воздействия атмосферного воздуха (насыщения его газами атмосферы) в течение всего процесса сварки;
- получение металла шва нужного химического состава и свойств путем его легирования и раскисления;
- очистку (рафинирование) металла шва от вредных примесей и газов (серы, фосфора, водорода, азота и др.);
- удаление включений окислов и шлаков;
- модифицирование, измельчение первичной структуры металла шва.

Следовательно, с помощью сварочных материалов реализуется процесс сварки и осуществляется сложная физико-химическая обработка расплавленных электродного и основного металлов, производимая в газовой и шлаковой фазах и завершающаяся в сварочной ванне, что приводит к образованию шва нужного химического состава с требуемыми свойствами. Такую обработку обычно называют металлургической [5].

В табл. 1.4 представлена выписка из ГОСТ 2246 – 70 по содержанию основных химических элементов (химсостав) для проволоки стальной сварочной.

Таблица 1.4 – Химический состав для проволоки стальной сварочной по ГОСТ 2246-70

Марка стали	Содержание основных компонентов и примесей, %						
	C, max	Mn, max	Si, max	P, max	S, max	Cr, max	Ni, max
Св-08	0,10	0,35 – 0,60	0,03	0,04	0,04	0,15	0,30
Св-08А	0,10	0,35 – 0,60	0,03	0,03	0,03	0,12	0,25

При изготовлении проволоки Св-08 использовать катанку Св-08 или Св-08А, при изготовлении проволоки Св-08А использовать катанку Св-08А. В табл. 1.5 представлены диаметры для выше указанных марок проволоки.

Таблица 1.5 - Диаметры проволоки и предельные отклонения Св - 08, Св - 08А по ГОСТ 2246-70

Номинальный диаметр проволоки	Предельные отклонения по диаметру	Овальность проволоки
1,2 – 1,4	– 0,09	0,04
1,6 – 2,0	– 0,06	0,03
2,5 – 3,0	– 0,09	0,04
4,0 – 6,0	– 0,12	0,06

Овальность проволоки не должна превышать допустимых отклонений по диаметру. Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, без волнистости, трещин, закатов, раковин, забоин, ржавчины, масла и других загрязнений.

Допускаются остатки неудалённой окалины в виде пятен и строк. Допускаются риски, царапины, местная рябизна и отдельные вмятины. Глубина указанных пороков не должна превышать предельных отклонений по диаметру

2. ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО ЦЕХА

2.1 Характеристика технологического оборудования

Оборудование волочильных станов «Koch»: KGT 20/12, KGT 20/10, KGT 20/8, KGT 18/7, KGT 20/6, KGT 20/3, KGT 20/2, представляет собой поточную линию, состоящую из следующих узлов:

- вертикальный узел разматывающего устройства;
- окалиноломатель;
- устройство очистки катанки от окалины абразивной лентой (лентошлифивальный агрегат);
- агрегат для нанесения покрытий на проволоку;
- стан многократного волочения проволоки;
- устройство для согласования скорости стана и намоточного устройства (компенсатора);

вертикальное устройство для намотки проволоки на цельнометаллическую или разборную катушку.

Технические характеристики волочильных станов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристики волочильных станов сталепроволочного цеха

Продолжение таблицы 2.1

Техническая Характеристика	Станы фирмы «Koch»						
	KGT 20/2	KGT 20/3	KGT 20/6	KGT 18/7	KGT 20/8	KGT 20/10	KGT 20/12
Количество станов	2	5	4	1	2	1	1
Число волок, шт.	2	3	6	7	8	10	12
Минимальный диаметр готовой проволоки, мм	4,0	3,4	2,5	1,6	2,0	1,6	1,2
Максимальная скорость волочения, м/с	5,0	6,0	15,0	18,0	20,0	30,0	30,0
Диаметр оправки волоки, мм	50х60 (43х27)						
Блоки, оснащенные вращающимися волокодержателями типа FR 3	1	1	1, 6	1, 7	1, 8	1, 10	1, 12
Блоки, оснащенные ворошителем смазки	1, 2	1-3	1-6	1-7	1-8	1-10	1-12

Волочильные станы оснащены панелями управления. Панель управления включает в себя дисплей и клавиатуру, что позволяет осуществлять настройку всех параметров волочения проволоки. Дисплей отображает скорость линии, силу тока, состояние каждого узла, а также предупреждает о наличии сбоев и неполадок в работе оборудования.

Вертикальное поворотное разматывающее устройство (рис. 3.1), представляет собой сварную стальную конструкцию с двумя якорями разматывателя для фиксации бухт катанки. Наклон разматывающего устройства осуществляется с помощью гидравлических цилиндров.

Кроме того, в состав устройства входит сам разматыватель с корзиной, сквозь которую пропускается катанка. Шкивы имеют специфическую форму (с V-образными жилами) для удаления окалины с катанки.

Размоточное устройство предназначено для вертикальной размотки низкоуглеродистой катанки диаметром от 5,5 до 8,0 мм в бунтах массой до 2,5 т.

Необходимое усилие для размотки обеспечивается первым блоком волочильного стана. Устройство обеспечивает непрерывность процесса размотки катанки. Для этого устройство имеет держатели для двух бунтов катанки. Благодаря этому, возможна сварка заднего конца катанки, находящейся в работе, с передним концом катанки, загруженной вновь.



Рисунок 2.1 - Вертикальное поворотное разматывающее устройство

Для удаления окалины с поверхности катанки применяется окалиноломатель (рис. 2.2). На входе и на выходе из окалиноломателя установлены направляющие входная и выходная воронка. Все ролики имеют вкладыши из твердого сплава. Машина оборудована пяти роликовым правильным устройством (диаметр правильных роликов 72 мм). Ролики ломающего и гибочного устройства (диаметры двух гибочных роликов 158 мм, диаметр ломающего ролика 199 мм) имеют вкладыши из твердого сплава и расположены таким образом, что катанка очищается от окалины в 3 плоскостях.



Рисунок 2.2 - Окалиноломатель

Весь окалиноломатель размещен в закрытом корпусе, исполненном в виде прочной сварной конструкции.

Лентошлифовальный агрегат (рис. 2.3) предназначен для удаления остатков окалины с катанки путем равномерного съема поверхностного слоя. Доочистка шлифовальной лентой производится на станах кратностью 6 - 12.



Рисунок 2.3 - Лентошлифовальный агрегат

Процесс осуществляется с помощью абразивной ленты, установленной на двух валках агрегата. Натяжение ленты производится с помощью натяжного валика. Уровень давления сжатого воздуха в натяжном устройстве для волочильного стана – от 0,35 до 0,5 МПа.

Агрегат для нанесения подсмазочного покрытия предназначен для нанесения подсмазочного слоя на катанку. Катанка подготавливается к дальнейшему волочению при помощи трех операций. В ходе первой операции, налипшие на катанку остатки окалины и мелкая пыль, смываются подаваемой под давлением горячей водой.

В ходе второй операции, катанка проходит через ванну с водным раствором соли, который захватывается поверхностью катанки.

При третьей операции, для удаления излишков солевого раствора, катанка обдувается сжатым воздухом. Сразу после этого катанка проходит операцию сушки. Сушка производится во встречном потоке горячего воздуха. Рекомендуемая температура воздуха в канале сушила составляет 150 °С.

Стан многократного волочения проволоки (рис. 2.4) предназначен для волочения проволоки на заданный размер. Проволока наматывается на барабан до накопления количества витков достаточного для осуществления

процесса волочения, после чего описанные действия повторяются для каждого последующего блока.

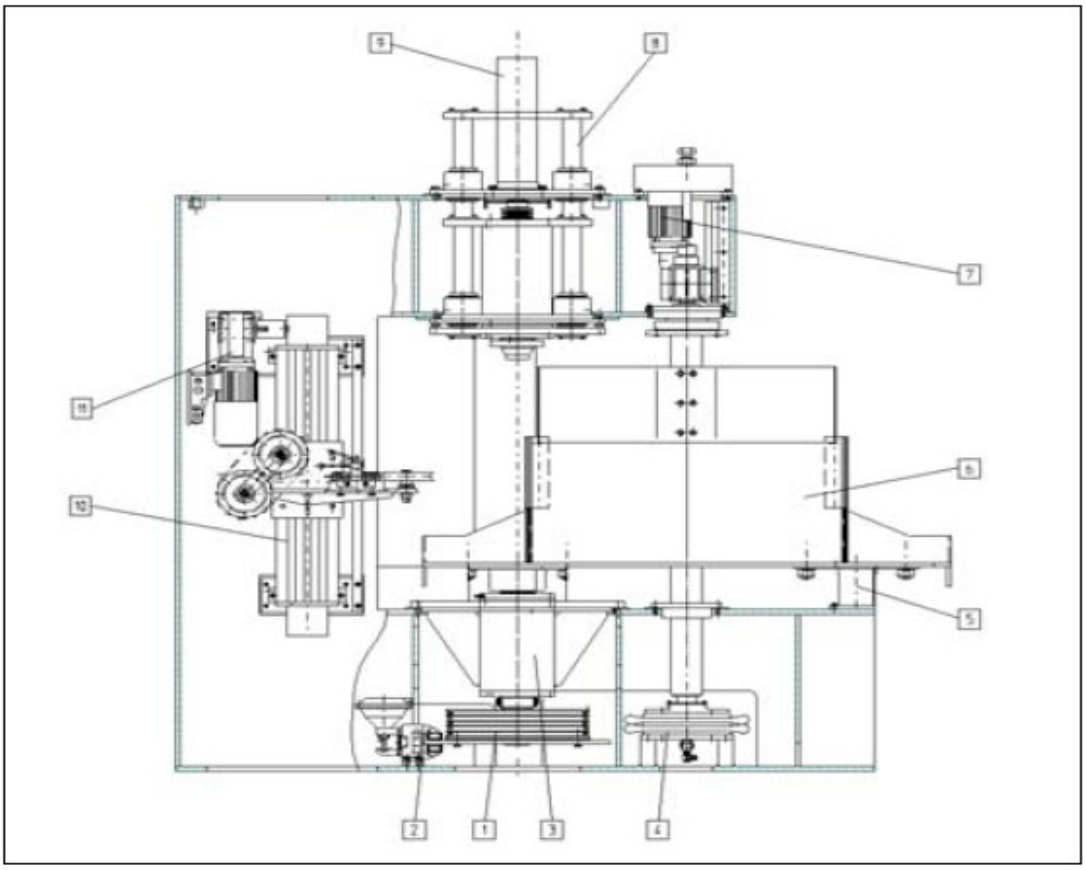


Рисунок 2.4 - Стан многократного волочения проволоки

Высота намотки проволоки на первом барабане не менее 240 мм, на последующих барабанах не менее 120 мм. Волочение проволоки производиться со скоростью, задаваемой волочильщиком проволоки на панели управления. Скорость волочения должна соответствовать технологическим картам.

Вертикальное устройство для намотки проволоки предназначено для наматывания проволоки на разъемные и цельные катушки.

Намоточное устройство – двухпозиционное (рис. 2.5), поворотного типа с вертикальным расположением оси приемной катушки.

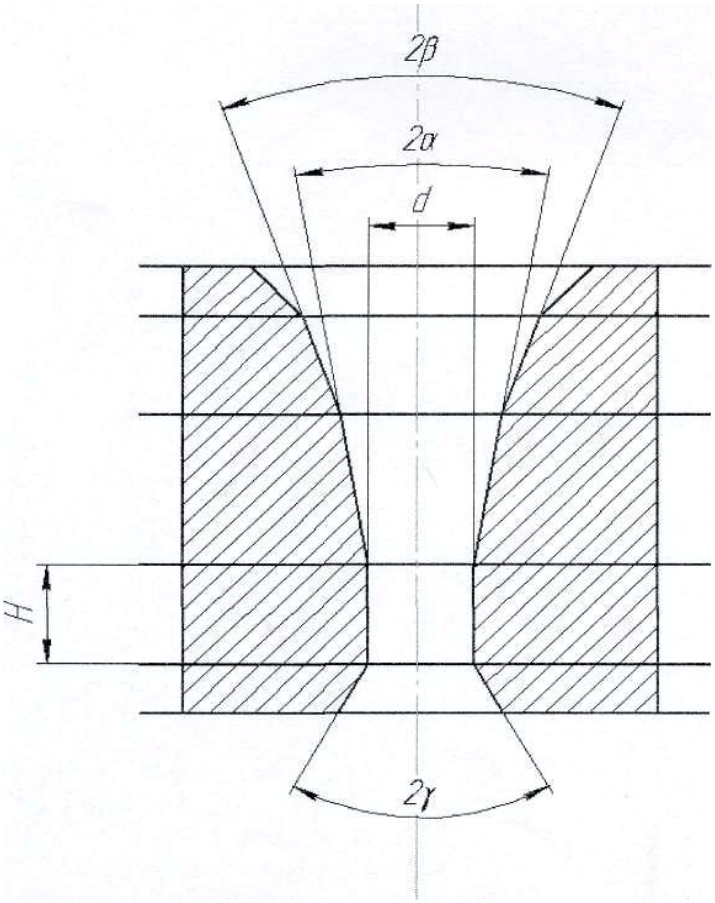


1 – главный привод; 2 – тормоз; 3 – неподвижная опора; 4 – цилиндр с гармошкой; 5 – центрирующее приспособление катушки; 6 – поворотный стол; 7 – привод поворотного стола; 8 – пиноль; 9 – привод пиноли; 10 – укладчик; 11 – привод укладчика

Рисунок 2.5 - Намоточное устройство

2.2 Волочильный инструмент

Волока — инструмент с воронкообразным отверстием (каналом) определенной формы, через которое протягивается обрабатываемый материал (проволока). На рис. 2.6 изображены зоны волочильного инструмента.



d – диаметр внутреннего канала, мм; 2β – угол входной распушки; 2α – угол рабочего конуса, град; 2γ – угол выходной распушки; d1 – диаметр калибрующего отверстия

Рисунок 2.6 - Зоны волочильного инструмента

Входная распушка — часть канала волоки, служащая для обеспечения ввода заготовки.

Смазочная – для подачи смазки в рабочую зону.

Рабочая зона — часть канала волоки, служащая для осуществления деформации протягиваемого металла, в процессе которой уменьшается поперечное сечение проволочной заготовки до заданного значения.

Калибрующая зона — часть канала волоки, служащая для придания размерам поперечного сечения протягиваемой проволоки заданной точности. Как и рабочая, эта зона обуславливает силу волочения и стойкость волоки. На эти показатели процесса волочения влияет также длина калибрующей зоны. Заниженная длина калибрующей зоны к быстрому ее износу, завышенная – увеличивает силу волочения. Поверхность калибрующей зоны также, как и рабочей, должна иметь зеркальный блеск и соответствовать её классу точности. От неё зависит частота поверхности проволоки.

Выходная распушка – необходима для предохранения протянутого металла при выходе его из калибрующей зоны от повреждения и предупреждает скалывание выходной кромки калибрующей зоны. Обычно выходная распушка имеет форму усеченного конуса с углом при вершине 60 – 70 градусов. Длину ее принимают равной (0,4 – 0,6), диаметры внутреннего канала и углы рабочего конуса представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Диаметры канала и углы рабочего конуса

Участок	Диаметр внутреннего канала, мм	Угол рабочего конуса, градус
Участок грубого волочения	От 1,17 до 2,13 вкл.	10±0,5
	Св. 2,15 до 2,95 вкл.	12±0,5
	Св. 2,95 до 7,5 вкл.	16±0,5

Материал волочильного инструмента должен обладать свойствами: низким коэффициентом трения, большое сопротивление износу, способность противостоять разрушающим нагрузкам от расклинивающего действия протягиваемого металла, хорошей теплопроводностью.

Максимальное количество используемых волок зависит от максимального входного диаметра проводника и от требуемого выходного диаметра. Выходные волоки повышенной точности изготовления. Применяются волоки из твердых сплавов (кроме выходных) и технических алмазов.

Чтобы продлить срок службы волок, необходимо в процессе волочения принимать следующие меры: не допускать волочение катанки с остатками с остатками на ее поверхности окалины и загрязнений; следить за непрерывным поступлением смазки в волоку; не перегревать волоки; своевременно производить ремонт волок.

3. РАСЧЕТ МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ

3.1 Маршрут волочения проволоки

Выполним расчет маршрута волочения проволоки, определим энергосиловые параметры процесса волочения и определить значения коэффициента запаса в каждом проходе. Исходные данные для расчета представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Исходные данные для расчета маршрута волочения проволоки

d_0, мм	d_1, мм	Материал	Число проходов	Минимальный коэффициент запаса	Полуугол рабочего конуса, град
5,50	2,91	сталь Св-08 по ГОСТ 2246-70	5	1,4	8

1. Определяем минимальный диаметр конечного сечения проволоки в соответствии с ГОСТ 2246 - 70

$d_{1min} = 3,0 – 0,09 = 2,91$ мм

Площадь конечного поперечного сечения проволоки составит

$F_1 = \pi \times d_1^2/4 = \pi \times 2.91^2/4 = 6,65$ мм^2.

2. Определяем максимально возможный диаметр исходной заготовки в соответствии с ГОСТ 2590 – 06

$d_{0max} = 5,50 + 0,3 = 5,8$ мм.

Площадь поперечного сечения составит

$F_0 = \pi \times d_0^2/4 = \pi \times 5,8^2/4 = 26,41$ мм^2

3. Определяют суммарную вытяжку

$\lambda_\Sigma = d_0^2 / d_к^2$;

$\lambda_\Sigma = (5,8/2,91)^2 = 3,972$.

4. Определяем среднюю вытяжку

$\lambda_{ср} = (3,972)^{1/5} = 1,317.$

Тогда в последнем проходе 1,147

6. Определяем площадь поперечного сечения проволоки в каждом проходе

$F_1 = F_0/\lambda_1 = 26,41/1,528 = 17,28$ мм^2;

$F_2 = F_1/\lambda_2 = 17,28/1,365 = 12,66$ мм^2;

$F_3 = F_2/\lambda_3 = 12,66/1,325 = 9,56$ мм^2;

$F_4 = F_3/\lambda_4 = 9,56/1,253 = 7,63$ мм^2;

$F_5 = F_4/\lambda_5 = 7,63/1,147 = 6,65$ мм^2.

7. Определяем диаметр проволоки в каждом проходе

$d_1 = (4\times F_1/\pi)^{0,5} = (4\times 17,28/\pi)^{0,5} = 4,69$ мм;

$d_2 = (4\times F_2/\pi)^{0,5} = (4\times 12,66/\pi)^{0,5} = 4,02$ мм;

$d_3 = (4\times F_3/\pi)^{0,5} = (4\times 9,56/\pi)^{0,5} = 3,49$ мм;

$d_4 = (4\times F_4/\pi)^{0,5} = (4\times 7,63/\pi)^{0,5} = 3,11$ мм;

$d_5 = (4\times F_5/\pi)^{0,5} = (4\times 6,65/\pi)^{0,5} = 2,91$ мм.

Делаем проверку: $d_5 = d_к$

2,91 = 2,91 = 3,00 мм.

Равенство выполняется.

8. Определяем суммарную степень деформации проволоки по проходам

$\varepsilon_1 = (F_0 - F_1/F_0) = (26,41 - 17,28/26,41) \cdot 100\ \% = 35\ \%$;

$\varepsilon_2 = (F_0 - F_2/F_0) = (26,41 - 12,66/26,41) \cdot 100\ \% = 52\%$;

$\varepsilon_3 = (F_0 - F_3/F_0) = (26,41 - 9,56/26,41) \cdot 100\ \% = 64\ \%$;

$\varepsilon_4 = (F_0 - F_4/F_0) = (26,41 - 7,63/26,41) \cdot 100\ \% = 72\ \%$;

$\varepsilon_5 = (F_0 - F_5/F_0) = (26,41 - 6,65/26,41) \cdot 100\ \% = 75\ \%$.

9. Определяем сопротивление металла деформации для материала проволоки сталь Св-08 по ГОСТ 2246-70

$\sigma_в = a + b\times\varepsilon^c$,

где a = 279,5 МПа; b = 43,2; c = 0,53.

После подстановки данных получим

$\sigma_{в1} = 279,5 + 43,2\times 35^{0,53} = 429$ МПа;

$\sigma_{в2} = 279,5 + 43,2 \times 52^{0,53} = 452$ МПа;

$\sigma_{в3} = 279,5 + 43,2 \times 64^{0,53} = 464$ МПа;

$\sigma_{в4} = 279,5 + 43,2 \times 72^{0,53} = 472$ МПа;

$\sigma_{в5} = 279,5 + 43,2 \times 75^{0,53} = 475$ МПа;

10. Определяем силу волочения в каждом проходе по формуле А.И. Целикова. Принимаем f = 0,06 [4]:

$$P = \sigma_в \times F_1 \times (1 + tg\alpha/f) \times (1 - (1 - (q/\sigma_в) \times (1/(1 + tg\alpha/f) \times (d_1/d_0)^{2 \times f/tg\alpha})$$

Стан работает без противонатяжения, поэтому принимаем q=0.

После подстановки получим

$P_1 = 429 \times 17,28 \times (1 + tg8/0,06) \times (1 - (1 - (1/(1 + tg8/0,06) \times (4,69/5,80)^{2 \times 0,06/tg8}) = 5188$ Н;

$P_2 = 452 \times 12,66 \times (1 + tg8/0,06) \times (1 - (1 - (1/(1 + tg8/0,06) \times (4,02/4,69)^{2 \times 0,06/tg8}) = 3135$ Н;

$P_3 = 464 \times 9,56 \times (1 + tg8/0,06) \times (1 - (1 - (1/(1 + tg8/0,06) \times (3,49/4,02)^{2 \times 0,06/tg8}) = 2210$ Н;

$P_4 = 472 \times 7,63 \times (1 + tg8/0,06) \times (1 - (1 - (1/(1 + tg8/0,06) \times (3,11/3,49)^{2 \times 0,06/tg8}) = 1403$ Н;

$P_5 = 475 \times 6,65 \times (1 + tg8/0,06) \times (1 - (1 - (1/(1 + tg8/0,06) \times (2,91/3,11)^{2 \times 0,06/tg8}) = 663$ Н;

11. Определяем напряжение волочения в каждом проходе

$\sigma_1 = P/F_1$

После подстановки получим

$\sigma_1 = 5188/17,28 = 300$ МПа;

$\sigma_2 = 3135/12,66 = 247$ МПа;

$\sigma_3 = 2210/9,56 = 231$ МПа;

$\sigma_4 = 1403/7,63 = 185$ МПа;

$\sigma_5 = 663/6,65 = 100$ МПа.

12. Определяем коэффициент запаса прочности в каждом проходе

$n_з = \sigma_в/\sigma_1$

После подстановки получим

$n_{з1}$ = 429/300 = 1,43;

$n_{з2}$ = 452/247 = 1,83;

$n_{з3}$ = 464/231 = 2,01;

$n_{з4}$ = 472/185 = 2,55;

$n_{з5}$ = 475/100 = 4,76.

Сравниваем расчетные значения $n_з$ с минимальным коэффициентом запаса прочности. Все расчетные значения $n_з$ больше минимального коэффициента запаса (1,4).

3.2 Выбор диаметра калибрующей зоны волоки

Не зная величины упругого последействия после волочения и последующей правки, сложно изготовить волочильный инструмент рациональных размеров с учётом обеспечения требуемых предельных отклонений профиля и максимальной продолжительности рабочей кампании инструмента. Необоснованный выбор диаметра волок приводит к быстрому выходу размеров калиброванной стали из поля допусков, определяемых стандартами, вследствие износа инструмента; уменьшению рабочей кампании волочильного инструмента; более частой перешлифовке и смене волок, а следовательно, к снижению коэффициента использования волочильного оборудования; увеличению затрат на перешлифовку канала волок.

В практике волочильного производства углы α выбирают, не только соображениями об оптимальных зонах, но и необходимостью создания условий для лучшего совпадения осей канала с направлением силы волочения и для возможного повышения стойкости канала, которая возрастает с уменьшением угла α, так как при этом уменьшаются нормальные давления на контактной поверхности. Поэтому применяемые углы находящиеся в оптимальной зоне чаще ближе к меньшим и даже в не ее. Величины наиболее часто применяемых углов α представлены на рисунке 3.1. [5]

Протягиваемый металл или сплав	Форма поперечного сечения	Материал волоки	α, град.
Медноникелевые сплавы, бронзы, среднеуглеродистые стали, медь, латунь, дуралюмин, алюминий, никелевые сплавы	Прутки круглые	Сталь	6—12 12—15
Никелевые, медноникелевые сплавы, бронза, стали высоко- и среднеуглеродистые Медь, латунь, мягкие стали, алюминий и его сплавы Свинец и его сплавы Титан и его сплавы Вольфрам и молибден (700—900° С)	Проволока круглая диаметром $>0,25$ *мм*	Твердые сплавы	6—18 7—9 9—12 7—16 8—10
Никелевые, медноникелевые сплавы, бронза, стали высоко- и среднеуглеродистые Медь, латунь, мягкие стали, алюминий и его сплавы Вольфрам и молибден (700—900° С)	Проволока круглая диаметром $<0,25$ *мм*	Технический алмаз	5—7 6—8 7—9
Цирконий и циркалой	Проволока круглая	Твердые сплавы	5—8
Медь, латунь, медноникелевые сплавы, алюминий и его сплавы	Прутки, проволока некруглой формы	Сталь Твердые сплавы	8—15 7—14
Черные и цветные металлы и сплавы	Трубы при волочении на закрепленной, подвижной и самоустанавливающейся оправках Трубы при волочении без оправки	Сталь, твердые сплавы	9—15 12—20

Рисунок 3.1 – Величина углов наклона образующей волочильного канала, применяемых при волочении в условиях отсутствия гидродинамического и гидростатического ввода смазки

Длины калибрующих зон волочильных каналов показаны на рисунке 3.2.

Волоки для проволоки

Алмазные волоки

Типа М — для холодного волочения металлов и сплавов с пределом прочности до 50 *кГ/мм²*:

Диаметр калибрующей зоны D, *мм*	0,1	0,1—0,5	0,5—1,0	1—2
Отношение длины калибрующей зоны к диаметру $\frac{l_п}{D}$	0,5	0,5	0,4	0,3

Типа Т — для холодного волочения металлов и сплавов с пределом прочности от 50 до 200 *кГ/мм²*:

Диаметр калибрующей зоны, *мм*	0,1	0,1—0,5
Отношение длины калибрующей зоны к диаметру	1,0	0,75

Типа С — для холодного волочения металлов и сплавов с пределом прочности более 200 *кГ/мм²*:

Диаметр калибрующей зоны, *мм*	0,1	0,1—0,5
Отношение длины калибрующей зоны к диаметру	1,0	0,75

Твердосплавные волоки

Диаметр калибрующей зоны волоки, *мм*	0,3—1	1—3	3—5	5—12	12
Отношение длины калибрующей зоны к диаметру	1,0	0,8	0,65	0,5	0,3

Волоки для труб

Диаметр калибрующей зоны волоки, *мм*	5—15	15—25	25—40	40—60
Длина калибрующей зоны волоки, *мм*	2	3	4	5
Отношение длины калибрующей зоны к диаметру	0,4—0,15	0,2—0,12	0,16—0,1	0,125—0,08
Диаметр калибрующей зоны волоки, *мм*	60—90	90—120	120—150	150—200
Длина калибрующей зоны волоки, *мм*	6	7	8	10
Отношение длины калибрующей зоны к диаметру	0,1—0,07	0,08—0,065	0,075—0,055	0,065—0,05

Рисунок 3.2 – Длины калибрующих зон волочильных каналов

В соответствии с рекомендациями, изложенными в рисунках 3.1 и 3.2, выбираем оптимальные углы α и длины калибрующих зон волочильных каналов для маршрута волочения рассчитанного в п. 3.1.

Оптимальный угол α в данном случае будет угол 16 градусов. Длину калибрующих зон волочильных каналов получим после подстановки значений.

4,69/0,65=7,215 мм;

4,02/0,65=6,185 мм;

3,49/0,65=5,369 мм;

3,11/0,65=4,785 мм;

2,91/0,8=3,638 мм;

На рисунке 3.3 представлен чертеж волоки, применяемой для волочения стальной проволоки по ГОСТ 7417.

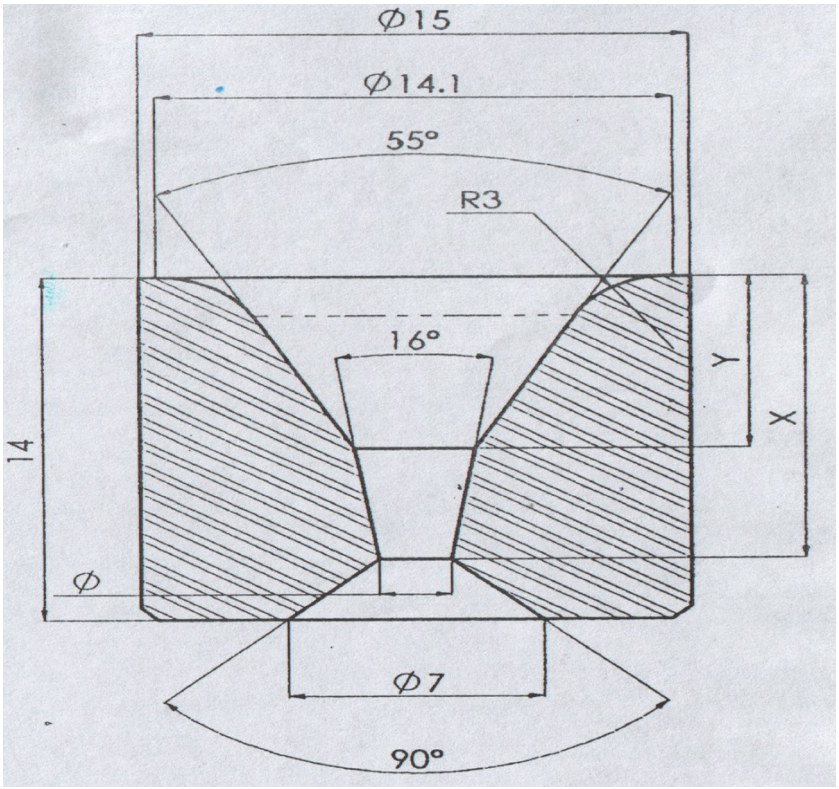


Рисунок 3.3 – Чертеж волоки

4.РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СТАНА МНОГОКРАТНОГО ВОЛОЧЕНИЯ KGT 2500

4.1. Исходные данные для расчета червячного редуктора

Выполним расчет на прочность зубчатой передачи первого тянущего блока стана многократного волочения. Этот блок включает асинхронный двигатель с частотным регулированием скорости вращения, червячный редуктор, передающий вал и тянущий барабан.



Рисунок 4.1 – Вид комбинированного привода мотор – червячный редуктор первого тягового барабана многократного стана KGT 2500/6: 1 – электродвигатель привода; 2 – червяк; 3 – червячное колесо

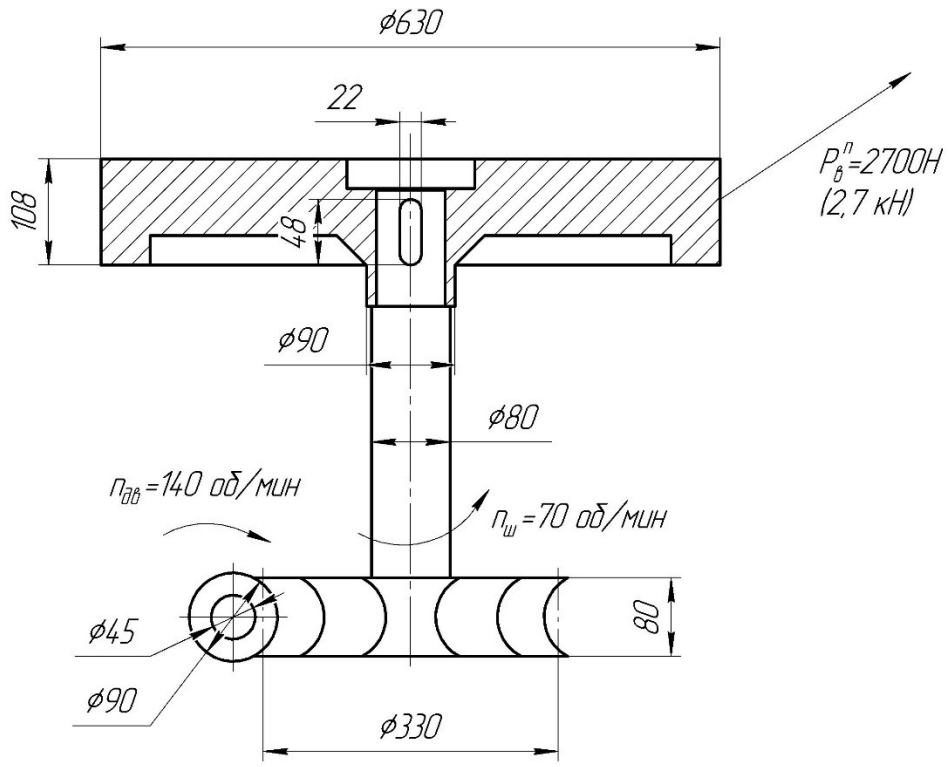


Рисунок 4.2 – Схема нагружения привода первого тянущего барабана

Техническая характеристика электродвигателя ALM 400B привода первого тягового барабана волочильного стана KGT 2500:

- номинальная мощность, кВт…….43,0;

- номинальный крутящий момент, кН · м……..0,235;

- номинальная частота вращения, об/мин……..1750,0;

- максимальный крутящий момент, кН · м……0,600;

- максимальная частота вращения, об/мин……6500,0.

Техническая характеристика червячного редуктора привода первого тягового барабана волочильного стана KGT 2500:

- передаточное число…….9,152;

- число заходов червяка…….5,0;

- количество зубьев колеса…….……..46,0;

- модуль зацепления, мм…….....7,0;

- угол зацепления, град…….……20,0;

- диаметр делительного цилиндра червяка, мм…….90,0;

- внутренний диаметр червяка, мм……65,0;

- делительный диаметр колеса, мм……...320,0.

Расчеты выполняли для технологических параметров волочения низкоуглеродистой проволоки диаметром 2,91 мм из катанки диаметром 5,50 мм с конечной скоростью $U_к$=7 м/с [1].

4.2. Расчет элементов червячного редуктора

Коэффициент суммарной вытяжки при волочении будет равен:

$$\lambda_\Sigma = \frac{\omega_0}{\omega_к}.$$

где ω_0 - площадь поперечного сечения катанки, равная 26,41 мм^2; $\omega_к$ - площадь поперечного сечения готовой проволоки 6,65 мм^2. После подстановки значений ω_0 и $\omega_к$, получим:

$$\lambda_\Sigma = \frac{26,41}{6,65} = 3,97.$$

Скорость волочения в первом проходе (линейная скорость первого тянущего барабана будет равна:

$$U_1 = U_k \frac{\lambda_1}{\lambda_\Sigma}.$$

где λ_1 - коэффициент вытяжки в первом проходе, равный 1,079 [2]. Получим

$$U_1 = 7\frac{1,501}{3.970} = 2,64 \text{ м/с}.$$

Частота вращения тягового барабана будет равна:

$$n_б = \frac{60\,U_1}{\pi\,D_{б1}}.$$

где $D_{б1}$ - диаметр первого тянущего барабана, равный 630 мм. Получим

$$n_б = \frac{60\,U_1}{\pi\,D_{б1}} = \frac{60 \cdot 2{,}64}{\pi \cdot 0{,}630} = 80{,}2 \text{ об/мин.}$$

Частота вращения электродвигателя при этом составит

$$n_{дв} = n_б\, i_{р1},$$

где $i_{р1}$ - передаточное число редуктора первого барабана 9,152

$$n_{дв} = n_б \cdot i_{р1} = 80{,}2 \cdot 9{,}152 = 734 \ \frac{об}{мин}.$$

Дальнейшая последовательность расчета червячного редуктора представлен в книге [1].

Тангенс угла подъёма винтовой линии составляет

$$tg\Upsilon = \frac{3 \cdot m_{ос}}{d_r} = \frac{3 \cdot 7}{90} = 0{,}233$$

Скорость скольжения червячной передачи

$$\upsilon_c = \frac{\pi \cdot d_r \cdot n}{60 \cdot \cos\Upsilon} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}09 \cdot 734}{60 \cdot \cos\ 13°17'} = 1{,}669 \ \ м/с.$$

При этом коэффициент трения примем μ=0,029, угол трения ρ=arctg μ = $1°38'$.

Теоретический к.п.д. червячной передачи:

$$\eta_1 = \frac{tg\Upsilon}{tg(\Upsilon + \rho)} = \frac{0{,}233}{tg(13°17' + 1°38')} = 0{,}885.$$

Коэффициент полезного действия подшипников качения червячного вала $\eta_2 = 0{,}99$.

Коэффициент полезного действия подшипников качения вала червячного колеса $\eta_3 = 0{,}99$.

Потери на трение в масляной ванной $\eta_4 = 0{,}99$.

Общий коэффициент полезного действия червячного редуктора будет равен

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0{,}885 \cdot 0{,}99^3 = 0{,}859.$$

Крутящий момент на червячном колесе равен

$$M_{ч.к} = M_{max} \cdot i \cdot \eta = 0{,}6 \cdot 9{,}152 \cdot 0{,}859 = 4{,}72 \ \ кН{\cdot}м.$$

Окружное усилие на червячном колесе (осевое для червяка)

$$P = \frac{2 \cdot M_{ч.к}}{d_k} = \frac{2 \cdot 4{,}72}{0{,}320} = 29{,}5 \ \ кН.$$

Окружное усилие червяка (осевое для колеса)

$$Q = P \cdot tg(\Upsilon + \rho) = 29{,}5 \cdot tg(13°7' + 1°38) = 7{,}8 \ \ кН.$$

Радиальное усилие червяка и червячного колеса

$$T = P \cdot tg\alpha = 29{,}5 \cdot tg\,20° = 10{,}7 \ \ кН.$$

Определение напряжений изгиба и сдвига в зубчатом зацеплении. Корректирующий коэффициент нагрузки

$$K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 1 \cdot 1{,}1 \cdot 1 = 1{,}1.$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты долговечности зубчатого зацепления, концентрации напряжений и условий работ.

Число модулей в делительном диаметре червяка определяется как

$$q = \frac{d_r}{m} = \frac{0{,}090}{7} \approx 13.$$

Напряжение сдвига в поверхностном слое зубьев

$$\tau = 1200 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot M_{ч.к} \cdot z_ч [i + \left(\frac{q}{z_ч}\right)]^3}{A^3 \cdot i^2 \cdot q}}.$$

$$\tau = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 4{,}72 \cdot 5 \cdot [9{,}152 + \left(\frac{13}{5}\right)]^3}{0{,}195^3 \cdot 9{,}152^2 \cdot 13}} = 86688{,}53 \frac{кН}{м^2} = 86{,}7 \ \ МПа.$$

Напряжение изгиба в опасном сечении зубьев

$$\sigma = \frac{0{,}11 \cdot M_{ч.к} \cdot z_ч \cdot z_к \cdot [i + \left(\frac{q}{z_ч}\right)]^3 \cdot cos\Upsilon}{y \cdot A^3 \cdot i^2 \cdot (q + 1{,}5) \cdot \varepsilon_{os}} \cdot \varphi.$$

$$\sigma = \frac{0{,}11 \cdot 4{,}72 \cdot 5 \cdot 46 \cdot [9{,}152 + \left(\frac{13}{5}\right)]^3 \cdot \cos\left(13°7'\right)}{0{,}118 \cdot 0{,}195^3 \cdot 9{,}152^2 \cdot (13 + 1{,}5) \cdot 1{,}845} \cdot 1{,}8 = 173303{,}35 \frac{кН}{м^2} = 173{,}3 \ \ МПа.$$

Для изготовления червяка принята сталь 40Х [1]. Для изготовление венца червячного колеса при υ_c = 1,669 м/с принята бронза марки БАРЖ 9-4, для которой $\sigma_в$= 700 МПа. Примем коэффициент запаса прочности венца $k_{зап}$ равным 4. Определим допускаемое напряжение на изгиб

$$[\sigma] = \frac{\sigma_в}{k_{зап}} = \frac{700}{4} = 175 \ \ МПа.$$

Далее определяем допускаемое напряжение сдвига

$$\tau_в = \frac{\sigma_в}{\sqrt{3}} = \frac{700}{\sqrt{3}} = 404{,}14 \ МПа;$$

$$[\tau] = \frac{\tau_в}{k_{зап}} = \frac{404{,}14}{4} = 101{,}035 \ \ МПа.$$

Проверяем выполнение условий прочности

$$\tau \le [\tau];$$

$$86{,}7 \ МПа \ \le \ 101{,}035 \ МПа;$$

$$\sigma \le [\sigma];$$

$$173{,}3 \ МПа \le \ 175 \ МПа.$$

Проанализировав полученные значения, можно сделать вывод о том, что данный редуктор является надежным, так как выполняются условия прочности зацепления.

4.3. Расчет вала червяка

Исходные данные:

Окружное усилие $Q_1 = 7{,}8$ кН;

Осевое усилие $P_1 = 29{,}5$ кН;

Радиальное усилие $T_1 = 10{,}7$ кН;

Крутящий момент на червячном колесе $M_{ч.к} = 4{,}72 \ кН$.

Участки длины вала в горизонтальной плоскости червяка $l_1 = 111$ мм, $l_2 = 129$ мм.

Расстояние между опорами $l = 240$ мм.

За расчетную схему принята балка однопролетная балка, нагруженная усилиями P_1, Q_1, T_1. На рисунке 3.4 представлена расчетная схема нагружения, выполненная в программе КОМПАС - 3D с указаниями сечений, действующих опорных реакций моментов и усилий.

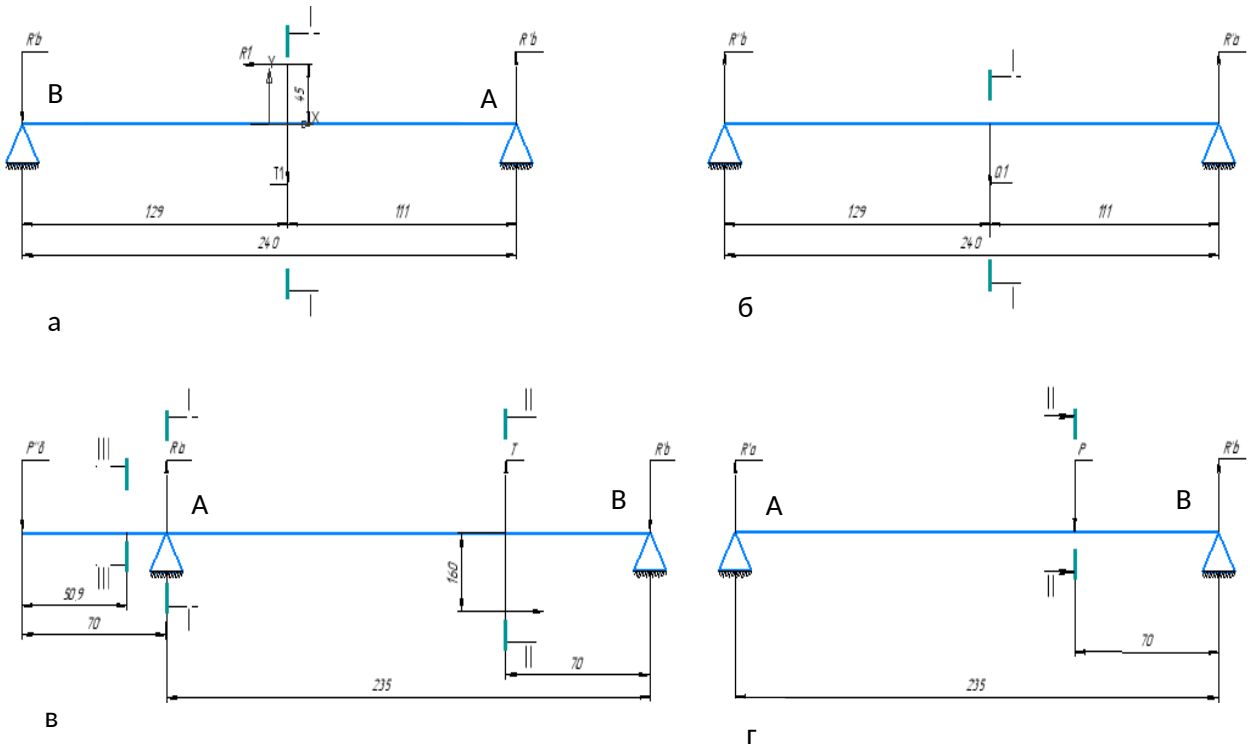


Рисунок 4.4 – Усилия и моменты:

а – в горизонтальной плоскости червяка; б – в вертикальной плоскости червяка; в – в вертикальной плоскости вала колеса; г – в вертикальной плоскости вала колеса, параллельной оси червяка

Опорные реакции:

$$\sum M_B = 0;\ P_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) + T_1 \cdot l_1 - R'_a \cdot l = 0;$$

$$R'_a = \frac{P_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) + T_1 \cdot l_1}{l} = \frac{29{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}090}{2}\right) + 10{,}7 \cdot 0{,}129}{0{,}240} = 11{,}3 \ \ кН.$$

$$\sum M_A = 0;\ P_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) - T_1 \cdot l_2 - R'_b \cdot l = 0;$$

$$R'_b = \frac{T_1 \cdot l_2 - P_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)}{l} = \frac{10{,}7 \cdot 111 - 29{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}090}{2}\right)}{0{,}240} = -0{,}6 \ \ кН.$$

Изгибающий момент в сечении $I - I$ от реакции R'_b

$$M'_{изгВ} = R'_b \cdot l_1 = (-0,6) \cdot 0,129 = -0,08 \ кН{\cdot}м$$

Изгибающий момент в сечении $I - I$ от реакции R'_a

$$M'_{изгА} = R'_a \cdot l_2 = 11,3 \cdot 0,111 = 1,3 \ кН{\cdot}м$$

Вертикальная плоскость

Опорные реакции:

$$R''_b = \frac{Q_1 \cdot l_2}{l} = \frac{7,8 \cdot 0,111}{0,240} = 3,6 \ кН.$$

$$R''_a = \frac{Q_1 \cdot l_1}{l} = \frac{7,8 \cdot 0,129}{0,240} = 4,2 \ кН.$$

Изгибающий момент в сечении $I - I$

$$M''_{изгА} = R''_a \cdot l_2 = 4,2 \cdot 0,111 = 0,47 \ кН{\cdot}м.$$

Результирующие опорные реакции

$$R^{\square}_a = \sqrt{(R'_a)^2 + (R''_a)^2} = \sqrt{(11,3)^2 + (4,2)^2} = 12,05 \ кН;$$

$$R^{\square}_b = \sqrt{(R'_b)^2 + (R''_b)^2} = \sqrt{(-0,6)^2 + (3,6)^2} = 3,6 \ кН.$$

Наибольший суммарный изгибающий момент в сечении $I - I$

$$M_{изг} = \sqrt{(M'_{изгА\ a}^{\square})^2 + (M''_{изгА})^2} = \sqrt{(1,3)^2 + (0,47)^2} = 1,38 \ кН{\cdot}м.$$

Напряжение изгиба в сечении $I - I$

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{0,1 \cdot d_{1\square}^3} = \frac{1,38}{0,1 \cdot 0,065^3} = 50250,3 \frac{кН}{м^2} = 50,2 \ МПа.$$

где d_1 = 65 мм – внутренний диаметр червяка.

Напряжение кручения в сечении $I - I$

$$\tau = \frac{M_{изг}}{0{,}2 \cdot d_{1}^{3}} = \frac{0{,}6}{0{,}2 \cdot 0{,}065^{3}} = 10923 \ \frac{кН}{м^{2}} = 10{,}9 \ \ МПа.$$

Приведенное напряжение в сечении $I - I$

$$\sigma_{пр} = \sqrt{(K_{\sigma} \cdot \sigma_{max})^{2} + 4 \cdot [(\frac{1+r}{2} + K_{\tau} \cdot \frac{1-r}{2}) \cdot \tau_{max}]^{2}}.$$

Определяем коэффициенты концентраций напряжений. В сечении $I - I$ концентрируются напряжения в месте перехода от внутреннего диаметра червяка к нарезке. По профилю резьбы имеем:

1. При отношении ρ/d_1 = 1,5/65 = 0,023 и материале вала червяка с пределом прочности с $\sigma_в$ = 700 МПа находим по диаграмме [4] эффективный коэффициент концентрации напряжений при изгибе $K_{\sigma} = 2{,}2$.

2. При отношении $\rho/d_1 = 0{,}023$ и отношении $\frac{d_1}{d_2} = \frac{0{,}065}{0{,}090} = 0{,}72$ находим теоретический коэффициент концентрации напряжений при кручении $K_{\tau}^{'} = 2{,}6$ [4].

Эффективный коэффициент концентрации

$$K_{\tau} = 1 + q \cdot (K_{\tau}^{'} - 1).$$

При коэффициенте чувствительности легированных сталей к концентрации напряжений q = 0,8, получим

$$K_{\tau} = 1 + q \cdot (K_{\tau}^{'} - 1) = 1 + 0{,}8 \cdot (2{,}6 - 1) = 2{,}28.$$

Коэффициент амплитуды колебаний напряжений принимаем r = 0.

$$\sigma_{пр} = \sqrt{(K_{\sigma} \cdot \sigma_{max})^{2} + 4 \cdot [(\frac{1+r}{2} + K_{\tau} \cdot \frac{1-r}{2}) \cdot \tau_{max}]^{2}}.$$

$$\sigma_{пр} = \sqrt{(2{,}2 \cdot 50{,}2)^{2} + 4 \cdot [(0{,}5 + 2{,}28 \cdot 0{,}5) \cdot 10{,}9]^{2}} = 116 \ \ МПа.$$

Для стали 40Х допускаемое напряжение кручения составляет $[\tau] = 185 \ \ МПа$.

Напряжение кручения конца червячного вала

$$\tau = \frac{k_\tau \cdot M_{max}}{0{,}2 \cdot d^3} = \frac{1{,}55 \cdot 0{,}6}{0{,}2 \cdot 0{,}065^3} = 16932{,}2 \ \frac{кН}{м^2} = 16{,}9 \ \ МПа .$$

где $k_\tau = 1{,}55$ – коэффициент концентрации напряжений при наличии шпоночного паза; d = 65 мм – диаметр вала.

4.4. Расчет вала червячного колеса

Исходные данные:

Окружное усилие Q_1 = 7,8 кН;

Осевое усилие P_1 = 29,5 кН;

Радиальное усилие T_1 = 10,7 кН;

Крутящий момент на червячном колесе $M_{ч.к} = 4{,}72 \ \ кН$.

Диаметры вала для расчета представлены ранее на рисунке 4.2.

Диаметр конца червячного вала d_1 = 65 мм.

Диаметр вала в плоскости, параллельной оси червяка d_2 = 80 мм.

Диаметр вала в месте посадки шпоночного паза d_3 = 90 мм.

Диаметр вала при наличии шпоночного паза d_4 = 108 мм.

Расстояние между опорами в заданной плоскости l = 235 мм.

$l_1 = l_2$ = 70 мм.

l_3 = 50,9 мм.

Определяем усилие на барабане

$$P_б = \frac{2 \cdot M_{ч.к}}{D_б} = \frac{2 \cdot 4{,}72}{630} = 21 \ \ кН .$$

где $D_б = 630 \ \ мм$ - диаметр барабана.

Вертикальная плоскость (плоскость, перпендикулярная оси червяка).

Опорные реакции

$$\sum M_A = 0; \ \ P_б + T \cdot (l - l_1) \ + Q \cdot \left(\frac{d_k}{2}\right) - \ R'_b \cdot l = 0;$$

$$R'_b = \frac{P_б \cdot l_2 + T \cdot (l - l_1) + Q \cdot \left(\frac{d_k}{2}\right)}{l}.$$

$$R'_b = \frac{21 \cdot 0{,}070 + 10{,}7 \cdot (0{,}235 - 0{,}070) + 7{,}8 \cdot 0{,}160)}{0{,}235} = 19{,}04 \ \ кН;$$

$$\sum M_B = 0; \ \ Q \cdot \left(\frac{d_k}{2}\right) - T \cdot l_1 - \ R'_a \cdot l + P_б \cdot (l \ + \ l_2) = 0;$$

$$R'_a = \frac{Q \cdot \left(\frac{d_k}{2}\right) - T \cdot l_1 - \ R'_a \cdot l + P_б \cdot (l \ + \ l_r)}{l}.$$

$$R'_a = \frac{7{,}8 \cdot 0{,}160 - 10{,}7 \cdot 0{,}070 + 21 \cdot (0{,}235 + 0{,}070)}{0{,}235} = 29{,}3 \ \ кН;$$

Плоскость, параллельная оси червяка

Опорные реакции

$$R''_a = \frac{P_{\square} \cdot l_1}{l} = \frac{29{,}5 \cdot 0{,}070}{0{,}235} = 8{,}8 \ \ кН;$$

$$R''_b = \frac{P \cdot (l - l_1)}{l} = \frac{29{,}5 \cdot (0{,}235 - 0{,}070)}{0{,}235} = 20{,}7 \ \ кН .$$

Результирующие опорные реакции

$$R_a = \sqrt{(R'_a)^2 + (R''_a)^2} = \sqrt{(29{,}3)^2 + (8{,}8)^2} = 30{,}5 \ кН;$$

$$R_b = \sqrt{(R'_b)^2 + (R''_b)^2} = \sqrt{(19{,}04)^2 + (20{,}7)^2} = 28{,}14 \ кН.$$

Изгибающий момент в сечении $I - I$

$$M_{изг} = P_б \cdot l_2 = 21 \cdot 0{,}070 = 1{,}47 \ кН{\cdot}м.$$

Напряжение изгиба в сечении $I - I$

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{0{,}1 \cdot d_3^3} = \frac{1{,}47}{0{,}1 \cdot 0{,}090^3} = 20124{,}6 \ \frac{кН}{м^2} = 20{,}12 \ МПа,$$

где d_3 = 90 мм – диаметр вала.

Изгибающий момент в сечении $III - III$

$$M_{изгА} = P_б \cdot l_3 = 21 \cdot 0{,}0509 = 1{,}07 \ кН{\cdot}м.$$

Напряжение изгиба в сечении $III - III$

$$\sigma_a = \frac{k_\sigma \cdot M_{изгА}}{0{,}1 \cdot d_2^3} = \frac{1{,}9 \cdot 10{,}7}{0{,}1 \cdot 0{,}080^3} = 39590 \ \frac{кН}{м^2} = 39{,}6 \ МПа,$$

где $k_\sigma = 1{,}9$ - коэффициент концентрации напряжений при переходе от одного диаметра вала к другому; d_2 = 80 мм – диаметр вала.

Напряжение кручения в сечении $III - III$

$$\tau = \frac{k_\tau \cdot M''_{ч.к}}{0{,}2 \cdot d_2^3} = \frac{1{,}4 \cdot 4{,}72}{0{,}2 \cdot 0{,}080^3} = 64471{,}5 \frac{кН}{м^2} = 64{,}5 \ МПа,$$

где $K_\tau = 1{,}4$ - коэффициент концентрации напряжений при переходе от одного диаметра вала к другому.;

Приведенное напряжение составит

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{39{,}6^2 + 3 \cdot 64{,}5^2} = 118{,}5 \ МПа.$$

В месте посадки барабана вал ослаблен шпоночным пазом. Напряжение кручения

$$\tau = \frac{K_\tau \cdot M_{ч.к}}{0{,}2 \cdot d_2^{\,3}} = \frac{1{,}55 \cdot 4{,}72}{0{,}2 \cdot 0{,}080^3} = 71379{,}2 \ \frac{кН}{м^2} = 71{,}4 \ \ МПа,$$

где $K_\tau = 1{,}55$ - коэффициент концентрации напряжений при наличии шпоночного паза; d_2 = 80 мм - диаметр вала.

Изгибающий момент в сечении *II – II*

$$M_{изгА} = R_b \cdot l_1 = 28{,}14 \cdot 0{,}070 = 1{,}97 \ \ кН{\cdot}м.$$

Напряжение изгиба в сечении *II – II*

$$\sigma_{изг} = \frac{K_\sigma \cdot M_{изг}}{0{,}1 \cdot d_4^3} = \frac{2{,}4 \cdot 1{,}97}{0{,}1 \cdot 0,\ 108^3} = 37520{,}4 \ \frac{кН}{м^2} = 37{,}5 \quad МПа,$$

где K_σ = 2,4 – коэффициент концентрации напряжений при наличии шпоночного паза; d_4 = 108 мм - диаметр вала.

Напряжение кручения в сечении *II – II*

$$\tau = \frac{K_\tau \cdot M_{ч.к}}{0{,}2 \cdot d_4^3} = \frac{1{,}55 \cdot 4{,}72}{0{,}2 \cdot 0,\ 108^3} = 29011{,}5 \ \frac{кН}{м^2} = 29{,}012 \ \ МПа.$$

где $K_\tau = 1{,}55$ - коэффициент концентрации напряжений при наличии шпоночного паза.

Вал изготовлен из стали 45, для которой предел прочности $\sigma_в$= 600 МПа, предел текучести $\sigma_т$= 320 МПа. Допускаемые напряжения на изгиб и на кручение соответственно равны: [σ] = 140 МПа ; [τ] = 76 Мпа [2]. Согласно указанным допускаемым значениям для стали 45 условия прочности выполняются.

4.5. Расчет на прочность призматической шпонки

Шпонки применяют преимущественно для передачи крутящего момента от вала к ступице, насажанной на вал детали и наоборот. Шпоночные соединения различают на ненапряженные, осуществляемые призматическими

или сегментными шпонками, и напряженные, осуществляемые клиновыми и тангенциальными шпонками.

Призматическая шпонка удерживается в пазу вала силами трения за счет посадки с натягом $\frac{p9}{h9}$. Эти шпонки рассчитывают на смятие, а в особо ответственных случаях проверяют на срез. При расчете принимают нагружение шпонки по длине равномерным.

Вид шпонки, применяемой для посадки тягового барабана на приводной вал, и схема ее нагружения показаны на рисунке 4.5.

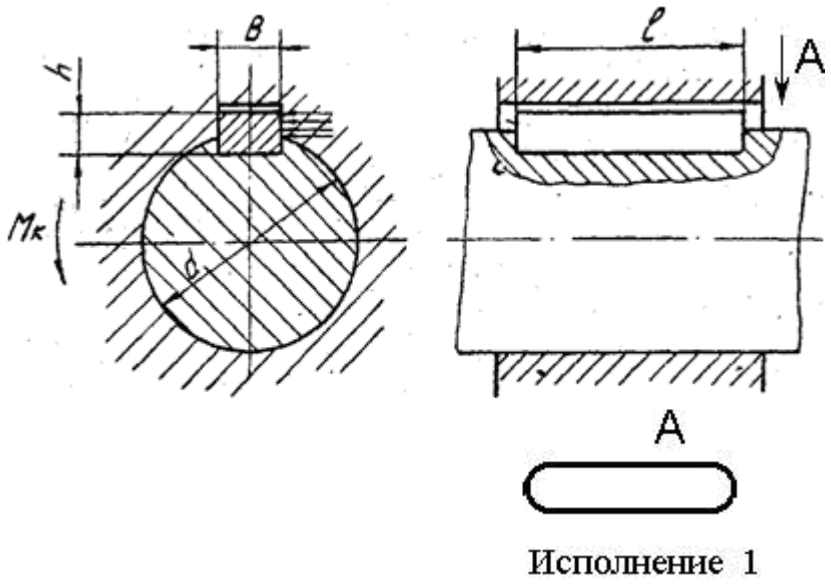


Рисунок 4.5 – Схема к расчету призматической шпонки

В соответствии с ГОСТ 23360-78 для вала диаметром d=65 мм примем следующие размеры шпоночного соединения: длина шпонки l=100 мм; ширина шпонки b=18 мм; высота шпонки h=11 мм; глубина шпоночного паза вала 7 мм;

Условное обозначение принятой шпонки: 18×11×100 ГОСТ 23360-78.

Расчет шпонки на прочность ведем в следующей последовательности [3].

1. Условие прочности призматической шпонки на срез имеет вид:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2\,M_к}{d \cdot b \cdot l \cdot} \le [\,\tau\,]_{\text{ср}},$$

где $\tau_{\text{ср}}$ – рабочие напряжения среза; $M_к = 0{,}607500\ \ кН \cdot м$ – передаваемый крутящий момент; d – номинальный диаметр вала; b – ширина шпонки;$\cdot l$ – длина шпонки; $[\,\tau\,]_{\text{ср}}$– допускаемое напряжение среза для стальных шпонок принимают равным $[\,\tau\,]_{\text{ср}}$ = 60÷90 МПа.

После подстановки значений параметров получим:

$$\tau_{ср} = \frac{2 \cdot 0{,}607500}{0{,}065 \cdot 0{,}018 \cdot 0{,}100} = 10384\,\frac{кН}{м^2} = 10\,,\ 4\ \ МПа\ \le [\tau]_{ср}.$$

Таким образом, условие прочности на срез выполняется.

2. Поскольку размеры сечений шпонок стандартизованы и принимаются в зависимости от диаметра вала d, то их расчет сводится к проверке выбранных размеров по напряжениям смятия:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4\,M_к}{d \cdot l \cdot h} \le [\,\sigma\,]_{\text{см}},$$

где h – высота шпонки; $[\,\sigma\,]_{\text{см}}$ – допускаемое напряжение смятия, для стальных шпонки и ступицы $[\,\sigma\,]_{\text{см}}$ = 120÷150 МПа.

В результате получим

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot 0{,}607500}{0{,}065 \cdot 0{,}100 \cdot 0{,}011} = 35630{,}5\ \frac{кН}{м^2} = 35{,}7\ \ МПа\ \le [\sigma]_{см}.$$

Таким образом, условия прочности призматической шпонки на смятие выполняются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы были изучены основные характеристики волочильного стана. Кроме того, рассмотрены технические инструкции и требования к материалу (заготовке) для волочения проволоки, а также

основные параметры готовой проволоки из стали марки Св – 08А, выпускаемой в рамках деятельности предприятия на стане KGT 2500.

Важным разделом выпускной работы является расчет на прочность основных узлов стана для волочения. Согласно проведенным расчетам червячной передачи, червячного колеса и призматической шпонки условия прочности перечисленных элементов удовлетворяют требованиям, иными словами, выполняются.

Выполнены расчеты на прочность основных деталей волочильного стана и маршрута волочения проволоки, определены энергосиловые параметры процесса волочения и значения коэффициента запаса в каждом проходе.

В соответствии с рекомендациями выбран оптимальный угол α твердосплавных волок и подобраны длины калибрующих зон волочильных каналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горловский М.Б., Меркачев В.Н. Справочник волочильщика проволоки – Москва.: Металлургия, 1993. — 336 с.

2. Жадан В.Т., Полухин П.И. Материаловедение и технология материалов. Москва.: Металлургия, 1994. - 624 с.

3. Коковихин Ю.И., Белалов Х.Н., Панашина В.И. Подготовка поверхности металла к волочению, Свердловск, 1980. - 288 с.

4. Красильников Л.А., Красильников С.А. Волочильщик проволоки. – Москва.: Металлургия, 1977. - 312 с.

5. Перлин И.Л., Ерманок М.З.. Теория волочения. – Москва.: Металлургия, 1971. - 447с.

9. Красильников Л. А., Лысенко А. Г. Волочильщик проволоки. Москва.: Металлургия, 1987.

7. Нефедов А.А., Гетманец В.В. Производство катанки - Москва.: Металлургиздат, 1963. - 253 с.

8. Савенок, А. Н. Перспективные направления развития твердосплавного инструмента для волочения проволоки / А. Н. Савенок, Д. Г. Сачава, Т. Н. Липаткина // Литье и металлургия. – 2007. – № 4 (44). – С. 39 - 43.

9. Савинчук Л. Г., Пудов Е. А., Малина И. Л. и др. Новая смазка МВ-1 для сухого волочения проволоки // Черная металлургия. 1993.

10. Шахпазов Х.С., Недовизий И.Н., Ориничев В.И. и др. Производство метизов, Москва.: Металлургия, - 1977. - 402 с.