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

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

_____/Баричко Б.В./

22. 06. 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ /Радионова Л.В./

_____ 2020 г.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТИТАНОВОЙ ПРОВОЛОКИ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА

ЮУрГУ – 15.04.02 – 2020 – 188 – 00.00.00 ПЗ

Нормоконтролер

_____ *к.т.н., доцент*

Радионова Людмила Владимировна
_____ 2020 г.

Руководитель работы

_____ *к.т.н., доцент*

Радионова Людмила Владимировна
_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы *П-249*

_____

Сарафанов Александр Евгеньевич
22.06. 2020 г.

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Сарафанов А.Е. Разработка новой конструкции волочильного оборудования и инструмента для производства титановой проволоки. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, ПиМОМД, 2020. – 70 с., 30 ил., библиогр. Список – 12 наим., 9 листов чертежей ф. А1, 1 лист иллюстрационного материала ф. А1

После анализа существующего оборудования для производства титановой проволоки, разработано более эффективное специализированное оборудование, включающее непрерывный волочильный стан с роликовыми волоками для производства проволоки диаметром до 0,9мм. Дано описание конструкции волочильного стана и роликовой волоки. Установлены закономерности уширения титановых сплавов при волочении в роликовых волоках, выполнены расчёты энергосиловых параметров процесса волочения в роликовых волоках и проведены расчеты на прочность и долговечность деталей и узлов роликовой волоки.

Предложен и исследован способ повышения износостойкости роликов с помощью детонационного напыления карбида вольфрама и его проплавления лазерной установкой.

Рассмотрены вопросы БЖД.

Оглавление

Введение 5
1. Обзор известных технических решений по волочению проволоки 6
1.1. Машины однократного волочения 6
1.2. Машины многократного волочения 7
1.3. Многократные станы работающие с противонатяжением (петлевые) 8
1.4. Вспомогательное оборудование волочильных станов 12
1.4.1. Намоточные устройства 12
1.4.2. Разматывающие устройства 14
1.4.3. Приспособления для заострения передних концов заготовки 15
2. Разработка конструкции непрерывного волочильного стана с роликовыми волоками 17
2.1. Расчет кинематических параметров 17
3. Расчет энергосиловых параметров 20
3.1. Определение геометрических параметров очага деформации при волочении титановых сплавов в роликовых волоках 20
3.2. Расчет усилия волочения и давления металла на ролики 25
3.3. Расчет мощности привода волочильного стана 29
4. Описание конструкция волочильного стана 31
5. Описание конструкции роликовой волоки. 35
6. Прочностные расчеты элементов роликовой волоки 38
6.1. Расчет оси ролика на прочность 38
6.2. Расчет подшипников 40
7. Выбор вспомогательного оборудования стана 41
8. Повышение эксплуатационных характеристик роликов с помощью аддитивных технологий 44
8.1. Подготовка образцов для испытаний на износоустойчивость. 44
8.2. Получение износостойкой поверхности образцов. 47
8.3. Описание установки для определения износостойкости. 52
8.4. Выявление влияния масштабного фактора на процесс нанесения карбида вольфрама 57
8.5. Выводы по главе 58

9. Охрана труда и техника безопасности 59
9.1 Общие требования безопасности к технологическому процессу 59
9.2. Характеристика опасных и вредных производственных факторов технологического процесса 60
9.3. Безопасность веществ и материалов на стане 61
9.4. Безопасность технологического процесса на волочильном стане 61
9.5. Безопасность производственного оборудования 63
9.6. Электробезопасность 64
9.7. Пожаровзрывобезопасность 65
9.8. Освещение 66
9.9. Шум и вибрация 66
Заключение 68
Библиографический список 69

Введение

При волочении титана в монолитных волоках возникает интенсивное скольжение между поверхностью волоки и изделием в условиях большого давления в очаге деформации, выжиманием смазки, недостаточный теплоотвод от рабочего инструмента, налипание и наваривание частиц металла на рабочую поверхность волоки на поверхности проволоки возникают различные риски и надиры.

На проволоке из титановых сплавов чаще всего образуются риски и задиры, а также различного рода продольные расслоения. Причиной этих дефектов может служить неправильно подобранный профиль волоки, недостаточно тщательная полировка ее рабочей поверхности, низкое качество смазки, трещины на поверхности заготовки, недостаточный отвод тепла от волоки. Дефекты в виде рисок, надиров, расслоений — практически неизбежный вид дефекта волочильного происхождения при обработке титановых сплавов без специальных подсмазочных покрытий или при использовании смазок из графита. Применение смазок вызывает проблему их удаления с поверхности готовой проволоки. Эти дефекты размером от 0,1 до 0,3 мм в зависимости от диаметра проволоки не допускаются на сварочной титановой проволоке. Наличие этих дефектов ухудшает качество сварного шва, приводит к образованию пор в металле шва. Риски, задиры, расслоения абсолютно недопустимы на полуфабрикатах, используемых для изготовления различных деталей крепежа (болты, заклепки, шпильки, гайки, штамповки и т. д.).

В последнее время производители титановой проволоки перешли на использование роликовых кассет, что позволило избежать большинства проблем присущих монолитным волокам. Одним из достоинств данной технологии является отсутствие технологической смазки и подготовки поверхности заготовки. Это в свою очередь благоприятно сказывается на экологичности производства и улучшает условия труда рабочего персонала.

На данном этапе развития волочильного оборудования рабочие ролики волочильных кассет изготавливают из карбида вольфрама, что значительно повысило стойкость этого вида волочильного инструмента [1].

Одной из причин малого применения роликов из твердых сплавов – сложность и дороговизна их изготовления.

В данной работе рассмотрен способ получения титановой проволоки холодным волочением в роликовых волоках. Разработан волочильный стан для производства титановой проволоки.

1. Обзор известных технических решений по волочению проволоки

1.1. Машины однократного волочения

Используют для волочения проволоки и прутков от 1 до 25мм [2]. По расположению осей барабанов изготавливают с вертикальными и горизонтальными осями. По способу крепления волоки-с неподвижной и с перемещающейся вдоль оси стана, при чем шаг перемещения волоки должен соответствовать диаметру готового профиля, что обеспечивает предохранение профиля и поверхности.

Станы однократного волочения имеют широкое распространение и в зависимости от сечения и качества протягиваемого металла имеют усилие от 0,5 до 10кН при скорости от 0,3 до 5м/с. Схема стана однократного волочения показана на рисунке 1. Однократные волочильные станы могут быть как с вертикальным барабаном, так и с горизонтальным.

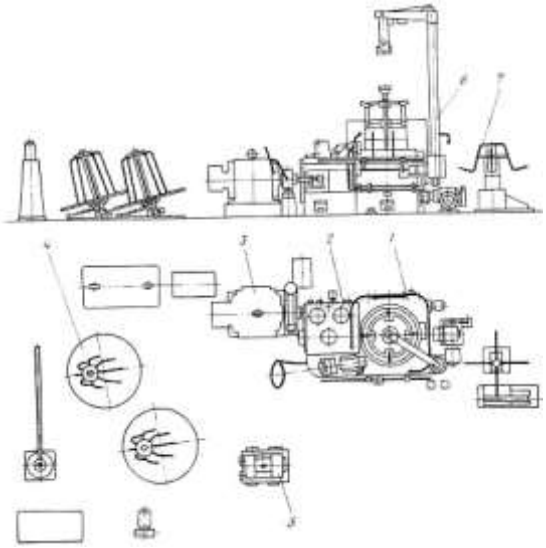


Рисунок 1. Стан однократного волочения.
Редуктор 1, коробка скоростей 2, электродвигатель 3, разматывающая фигурка 4, острильное приспособление 5, подъемник 6, приемное устройство 7

Достоинствами данного стана являются простота конструкции, дешевизна, универсальность.

Недостатками такого вида станов являются необходимость большого числа проходов, как следствие большое машинное время до получения готовой продукции, низкая производительность.

1.2. Машины многократного волочения

Многократными волочильными станами называются такие станы, на которых обрабатываемый материал в целях повышения производительности одновременно протягивается через несколько последовательно расположенных волок.

Машины многократного волочения подразделяются на две группы: машины, работающие без скольжения проволоки на тяговых барабанах и машины, работающие со скольжением [2].

Машины со скольжением подразделяют на: машины с постоянным диаметром тянущих барабанов, но с разным числом их оборотов и машины с разным диаметром тянущих барабанов при одинаковом числе их оборотов.

Стан многократного волочения состоит из последовательно расположенных волок (рисунок 2). Моток проволоки устанавливают на не приводную фигурку 4. Все барабаны являются тянущими и приводятся в движение от электродвигателя 5, посредствам редуктора 6 и конических зубчатых шестерен, имеющихся на оси каждого барабана. Таким образом, для каждой из 7ми волок устанавливают свой приводной барабан.

На каждый из промежуточных барабанов во время заправки стана наматывают по несколько витков проволоки, а во время работы за каждый

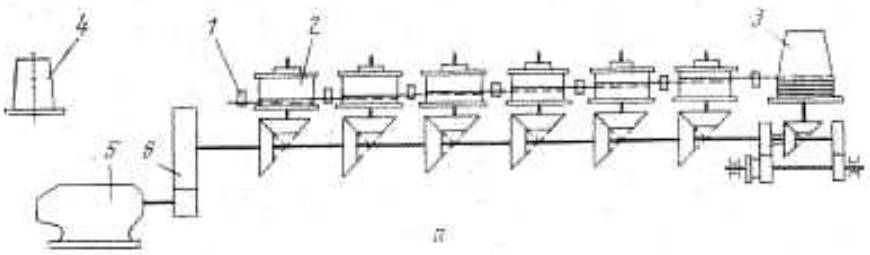


Рисунок 2. Стан многократного волочения

оборот барабана у его галтели внизу наматывается один виток проволоки, а один виток сверху сматывается, поддерживая таким образом количество витков на барабане. Готовая проволока сматывается на барабан 3.

Повышение скорости наматывания проволоки достигается передаточным числом конических зубчатых колес.

В результате износа и возможной неточности изготовления волок не удается удержать скорость на барабане, равной скорости движения металла. Поэтому в многократных станах со скольжением окружную скорость барабанов выбирают таким образом, чтобы она была на 2-4% больше скорости выхода протягиваемого металла. За счет этой разницы скоростей на всех барабанах кроме последнего проволока будет проскальзывать.

Непрерывные станы изготавливаются как с вертикальными, так и с горизонтальными барабанами. Применяют в основном для волочения медной алюминиевой и мягкой стальной проволоки.

При волочении стальной проволоки допускается лишь незначительное скольжение, т.к. быстро изнашивается поверхность барабана, проволока перегревается и местами даже обгорает, чистота поверхности проволоки падает.

1.3. Многократные станы работающие с противонатяжением (петлевые)

Благодаря противонатяжению уменьшается износ волок, повышается равномерность толщины проволоки и становится возможным применение более высоких скоростей волочения [3].

Создание и регулировка противонатяжения осуществляется регулировкой скорости вращения промежуточных барабанов при исключении возможности скольжения проволоки по барабану. Станы этого типа, аналогично другим многократным станам состоят из нескольких последовательно расположенных барабанов с находящимися между ними волоками. Схема стана петлевого типа представлена на рисунке 5.

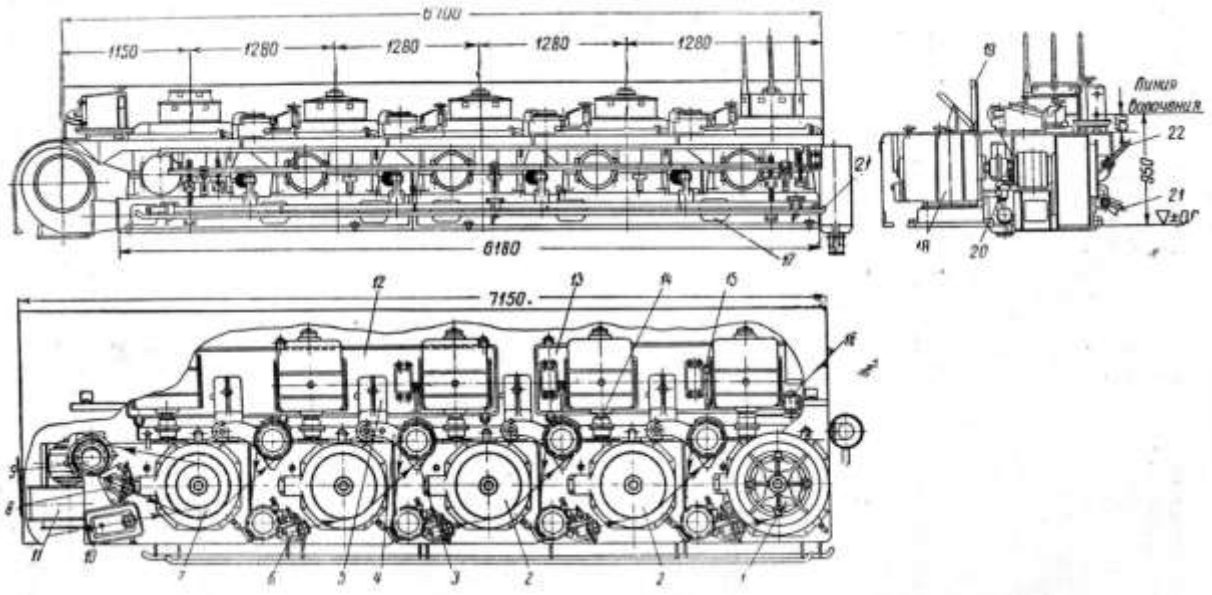


Рисунок 5. Стан многократного волочения петлевого типа с противонатяжением

1 блок чистового барабана, 2 блок промежуточного барабана, 3 буфер, 4 натяжной ролик, 5 регулятор скорости, 6 мыльница, 7 блок ступенчатого барабана. 8 мыльница ступенчатого барабана, 9 направляющий ролик, 10 мыльница ступенчатого барабана, 11 вентилятор, 12,13 подмоторные плиты, 14зубчатая муфта, 15 электроблокировка щита, 16 измеритель скорости волочения, 17 плита под блоками, 18 электродвигатель,19 щит, 20 маслоотвод, 21 ножной барьер, 22 ручной барьер.

Барабаны у этих станов выполняются такими же, как и у станов со скольжением.

Для привода каждого барабана применяются электродвигатели постоянного тока с регулировкой скорости.

Фирмой «Marschall Richards Barcro», Великобритания, разработан новый принцип непрерывно-петлевого и непрерывно-прямоточного многократного сухого волочения проволоки [4]. Этот принцип, которому фирма условно дала сокращенное название Veetrac (Виитрэк), характерен рядом больших преимуществ перед соответствующим многократным волочением проволоки со скольжением, производимым на обычных вертикальных машинах непрерывно-петлевого (роликового) и непрерывно прямоточного типов.

Основные преимущества данного принципа - это простота и легкость обслуживания волочильных машин Виитрэк, работающих по нему, их значительно меньшие габаритные размеры, повышенная производительность, широкий диапазон

диаметров проволоки и ее лучшие механические и технологические свойства.

Вместо тяговых барабанов предусмотрены волочильные тяговые шкивы небольшой толщины, на боковой поверхности которых выполнена перпендикулярно их оси вращения сплошная канавка с клиновидным поперечным сечением, напоминающим латинскую букву V.

В отличие от обычных волочильных барабанов большой высоты, имеющих гладкую цилиндрическую боковую поверхность, на тяговых шкивах машины Виитрэк проволока, выходя из волоки, не наматывается в большом количестве витками, а проходит без остановки только в виде одной нити дугой по V-образной канавке, охватывая ее по длине под углом не более 270^{0} .

Чтобы обеспечить получение необходимой силы волочения, достаточно иметь на вращающемся тяговом шкиве около половины витка проволоки, контактирующего со стенками V-образной канавки по дуге с углом охвата менее 120°.

Тяговый шкив на каждом блоке машины Виитрэк имеет индивидуальный привод и смонтирован непосредственно на конце горизонтального вала стандартного многоступенчатого зубчатого редуктора с геликоидальным зацеплением шестерен, присоединенного через муфту к электродвигателю постоянного тока.

Электродвигатель и редуктор установлены на простом фундаменте, под которым размещен резервуар с циркулирующей под действием насоса водой, служащей для охлаждения протягиваемой проволоки вместе с волокой и тяговым шкивом. К резервуару снаружи непосредственно под тяговым шкивом прикреплено корытце, необходимое, для сбора охлаждающей воды, стекающей с проволоки и канавки тягового шкива в процессе волочения. На волочильной машине Виитрэк процесс охлаждения проволоки и тяговых шкивов в отличие от обычных волочильных машин производится только водой. При этом вода непосредственно соприкасается с проволокой, что обеспечивает максимальную интенсивность ее охлаждения. Такое охлаждение стало возможным только в результате разработки в последние годы во многих странах, соответствующих новых замкнутых схем и устройств для данной цели применительно к многократному сухому волочению проволоки.

Принцип работы стана Виитрэк представлен на рисунке 6. На всех блоках машины проволока 1 по выходе из волокодержателя 2 с волокой, находящегося в

мыльнице 3, сразу же поступает в трубку 4, которая приварена к торцу волокодержателя и через которую от соответствующей охладительной камеры последнего турбулентным потоком протекает холодная вода под повышенным давлением. Эта вода непосредственно смачивает и охлаждает проволоку и, выходя из трубки струей, попадает сверху на V-образную канавку тягового шкива 5.

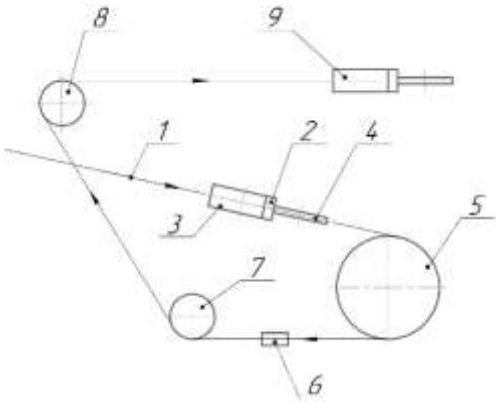


Рисунок 6. Принцип работы стана Виитрэк

Затем она свободно течет по V-образной канавке вниз вместе с проволокой, находясь под ней, и поступает в корытце. Из корытца вода проходит через фильтр и собирается в резервуаре, а оттуда - по гибкому шлангу и патрубку подается насосом снизу вверх снова в корпус мыльницы 3 (рисунок 6) с волокодержателем для интенсивного охлаждения волоки, проволоки и тягового шкива. При этом вода сначала попадает в пространство между стенками кожуха охладительной камеры и гнезда, в которое посажена волока. Мыльница и волокодержатель имеют закрытую конструкцию, чтобы не попадала в них вода от волочильной машины.

Сойдя с тягового шкива 5 (рисунок 6), проволока, имеющая на себе остатки воды, поступает в устройство 6 для ее сдува и обсушки поверхности подогретым (или неподогретым) сжатым воздухом, а оттуда через направляющий ролик 7 на натяжной регулировочный ролик 8 и в мыльницу 9 с волокодержателем 2 и волокой на следующем блоке волочильной машины.

В случае непрерывно-петлевого волочения проволоки (как и на обычных машинах непрерывно-петлевого типа) натяжной регулирующий ролик 8 меняет свое положение, если обжатие протягиваемого металла в волоке уменьшается вследствие

износа ее канала. При непрерывно-прямоточном волочения положение натяжного регулирующего ролика 8 зафиксировано, и он присоединен к силовому преобразователю, который позволяет осуществлять протяжку с регулируемым противонатяжением. Следовательно, наличие натяжного регулирующего ролика 8 на волочильной машине Виитрэк обеспечивает автоматическое регулирование скорости и силы волочения проволоки между двумя блоками. Соответствующее изменение этих параметров производят и натяжные регулирующие ролики на других блоках.

Благодаря предварительной сушке поверхности сжатым воздухом, который может подогреваться путем его пропускания через электронагревательное устройство, проволока поступает от тягового шкива 5 в мыльницу 9 следующего блока волочильной машины полностью сухим и, таким образом, вода не должна попадать в волочильную смазку.

С последнего блока волочильной машины Виитрэк проволока поступает на обычный же механизм ее непрерывного съема для намотки на катушку большой вместимости или в моток большой массы.

Максимальная простота конструкция волочильной машины Виитрэк ее значительно меньшие габаритные размеры (благодаря меньшей длине участка протягиваемой проволоки между двумя соседними блоками) облегчают монтаж и планово-профилактические и капитальные ремонты оборудования и снижают номенклатуру необходимых запасных частей к нему. Обеспечиваются хорошая чистота рабочего места волочильщика, лучший контроль за тяговыми шкивами и процессом волочения.

1.4. Вспомогательное оборудование волочильных станов

1.4.1. Намоточные устройства

Барабаны-моталки в различных агрегатах бывают вертикального или горизонтального исполнения.

На волочильных станах чистовые барабаны служат для накопления бунта проволоки. Имеются конструкции барабанов со штырями, специальные пазы для опускания съемника бунта. Такая конструкция барабана хорошо центрирует моток проволоки на штырях барабана, уменьшая тем самым динамические нагрузки на вал и подшипники барабана.

На других конструкциях барабанов съемник бунтов устанавливается заранее до образования мотка. При таком устройстве требуется меньшая высота подъемника кранов, обслуживающих стан, так как на барабане нет штырей. Однако моток проволоки на лапках съемника центрируется хуже, чем на штырях. Подшипники чаще выходят из строя.

При использовании тонкой проволоки после волочения или протягивания на данном же заводе для производства канатов, тросов, кабелей, гвоздей станы снабжаются катушечными намоточными устройствами. Благодаря большой емкости катушек по сравнению с емкостью чистовых барабанов станы могут работать более производительно, не теряя времени на снятие проволоки с барабана. Намотанная на катушках проволока легко без запутывания разматывается при последующих процессах.

При намотке натяжение поддерживается приблизительно постоянным. При обработке толстой проволоки для поддержания натяжения муфты проскальзывания не применяются, так имеется большой износ.

Применяя асинхронные электродвигатели для поддержания натяжений на моталке, применяют регулируемые трансформаторы, служащие для питания двигателей.

Для небольших моталок можно подобрать электродвигатель постоянного тока. При намотке на барабан всегда должен быть сформирован небольшой запас проволоки. Его объем зависит от скорости намотки на барабан. Чем выше скорость, тем больше должен быть запас проволоки в виде образовавшейся петли. Без петли можно работать только не с очень тонким материалом, иначе обрыв будет неминуем.

Когда идет намотка проволоки, натяжение её должно быть небольшим. Сильное натяжение может, с одной стороны, привести к разрушениям намоточной катушки, с другой, к слипанию витков проволоки. Намоточные устройства могут быть с

неподвижной и подвижной по оси катушками. Намоточное устройство с фиксированной катушкой изображено на рисунке 7 [3].

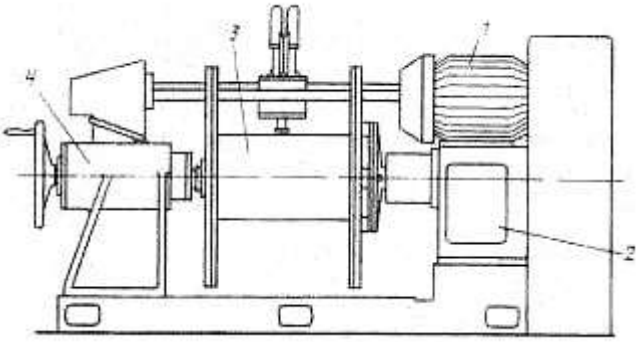


Рисунок 7. Намоточное устройство с неподвижной в осевом направлении катушкой

1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — катушка; 4 — конус задней бабки

Проволока наматывается на катушку по спирали, напоминая при этом процесс намотки нитки на шпульку челнока в швейной машинке. С толщиной проволоки меняется скорость движения направляющего рычага (вилки), уплотняя тем самым укладку витков.

Катушка с намоточного устройства снимается при смещении одного из конусов (рисунок 7).

Масса наматываемой на катушку проволоки может составлять несколько тонн. Для съема и перемещения катушек с большим весом используются специальные приспособления. Они оснащаются гидравлическим или пневматическим цилиндром.

Для формирования витков при укладке проволоки на катушке применяются также автоматически переключаемые винтовые приспособления или вилка, перемещающаяся вдоль катушки по винту. Шаг укладки регулируется скоростью вращения винта.

1.4.2. Разматывающие устройства

Перед всеми агрегатами для разматывания проволоки устанавливаю различные конструкции разматывателей.

Чтобы размотать проволоку диаметром 1—10 мм, применяют вращающиеся фигурки. Поступающая на волочение проволока не перекручивается. Однако

необходимость останавливать стан на время сварки следующего бунта проволоки к бунту, установленному на разматывателе, снижает производительность линии.

При выборе другого типа разматывателей можно производить сварку концов проволоки, так как бунты при разматывании не вращаются. Но имеет место закручивание проволоки и на установки такого разматывателя требуется больше места. Съем проволоки с такого разматывателя производится витками, и для их выпрямления требуется большое расстояние от разматывателя до стана.

1.4.3. Приспособления для заострения передних концов заготовки

При заправке стана диаметр переднего конца проволоки необходимо уменьшить, чтобы он легко вошел в волоку. Передний конец проволоки должен выходить из волоки настолько, чтобы было возможно закрепить его захваткой волочильного стана.

Для заострения проволоки или прутка применяют специальные приспособления: валковые острильные машины, ротационно-ковочные машины, гидравлические прессы, электропневматические ковочные молоты и резцовые головки. Также существуют приспособления для принудительного проталкивания проволоки в волоку, не заостряя её.

Все современные острильные машины являются приводными, оснащены отдельным приводом.

Схема острильной машины показана на рисунке 8 [3]. Данный агрегат снабжен приводными ножами 3,4, которыми обрезают передний конец заготовки.

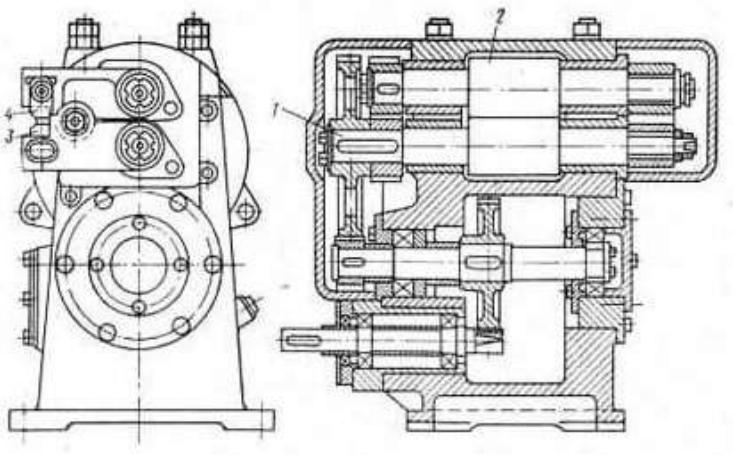


Рисунок 8. Валковая острильная машина

Валки 2 механизированной острильной машины вращаются навстречу друг другу, направление вращения – на оператора. Калибры валков (рисунок 9) верхний, имеют переменное, идущее на спад сечение. Конец проволоки задается в валки при максимальном раскрытии калибра. Калибры обжимают её и выталкивают обратно из валков. Затем производят кантовку заготовки и задают в этот же калибр. После нескольких повторений заготовка уменьшается в сечении до требуемых размеров.

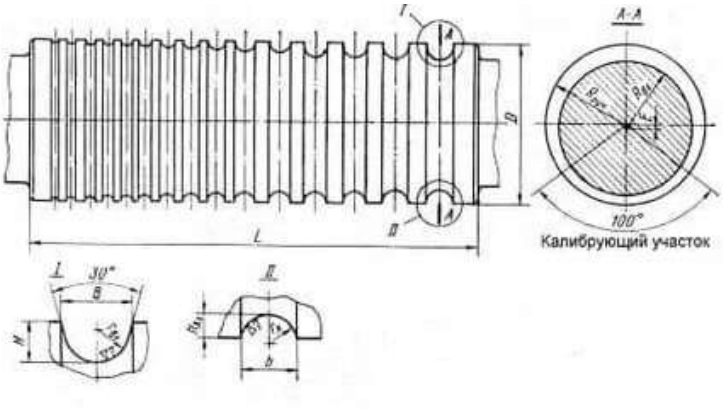


Рисунок 9. Калибровка валковой машины

При острении толстой проволоки, которую трудно поворачивать, применяются острильные машины с 2 парами валков. Одна пара стоит горизонтально, другая — вертикально.

2. Разработка конструкции непрерывного волочильного стана с роликовыми волоками

На основании обзора известных конструкций, выбираем для проектирования непрерывный волочильный стан без скольжения проволоки по барабану, типа Виитрэк. Данный тип стана более технологичен и высокопроизводителен.

2.1. Расчет кинематических параметров

Для обеспечения нормальных условий работы отношение скоростей двух смежных тяговых барабанов должно отвечать закону постоянства секундных объемов[5]:

$$F_1v_1 = F_2v_2 = ... = F_nv_n, \quad (1)$$

где F_1, F_2, ..., F_n - площадь сечения проволоки после прохода;

v_1,v_2, ..., v_n- скорость выхода проволоки после прохода.

Для определения скоростных параметров необходимо знать площади сечений по проходам. Для этого рассчитаем маршрут волочения:

диаметр исходной заготовки 2мм;

диаметр готовой проволоки 0,8мм.

Зададим среднюю вытяжку за проход λ=1,3, найдем площади поперечных сечений полосы по проходам по формуле:

$$F_i=F_{i-1}/\lambda, \quad (2)$$

Расчетные данные сведем в таблицу 1:

Таблица 1

Площади поперечного сечения полосы

F_0,мм	3,14
F_1,мм	2,415385
F_2,мм	1,857988
F_3,мм	1,429222
F_4,мм	1,099401
F_5,мм	0,845693
F_6,мм	0,650533

Пересчитав площади в диаметры, получим следующий маршрут волочения (таблица 2):

Таблица 2

Диаметры профиля по проходам

d_0,мм	2,00
d_1,мм	1,75
d_2,мм	1,54
d_3,мм	1,35
d_4,мм	1,18
d_5,мм	1,04
d_6,мм	0,91

Чтобы определить скоростные параметры процесса волочения зададим скорость волочения на выходе из стана V_n= 3м/с. Зная вытяжки за проход, найдем линейные скорости вращения барабана, которые будут равны, с учетом закона постоянства секундных объемов:

$$V_{n-1}=V_n/\lambda, \quad (3)$$

Результаты расчетов представим в виде таблицы 4:

Таблица 3

Скоростные параметры процесса волочения

V_6,м/с	3
V_5,м/с	2,307692
V_4,м/с	1,775148
V_3,м/с	1,365498
V_2,м/с	1,050383
V_1,м/с	0,807987

Для расчета числа оборотов барабанов, необходимо знать их диаметр. Диаметры барабанов выбираются в зависимости от диаметра изготавливаемой проволоки. По рекомендациям /волочение легких сплавов/ для проволоки диаметром 1,2мм и менее применяют диаметр барабанов 200мм. Принимаем, что все барабаны равны 200мм.

Произведем расчет скорости вращения барабанов по формуле:

$$n = \frac{V \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot D}, \quad (4)$$

где V – линейная скорость вращения барабана, м/с, D – диаметр барабана, мм, n – скорость вращения барабана, об/мин.

Результаты расчетов сведем в таблицу 4:

Таблица 4

Скорости вращения барабанов, об/мин

n_6,об/мин	286,6242
n_5,об/мин	220,4802
n_4,об/мин	169,6001
n_3,об/мин	130,4616
n_2,об/мин	100,3551
n_1,об/мин	77,19623

Разработаем кинематическую схему агрегата волочения (рисунок 10):

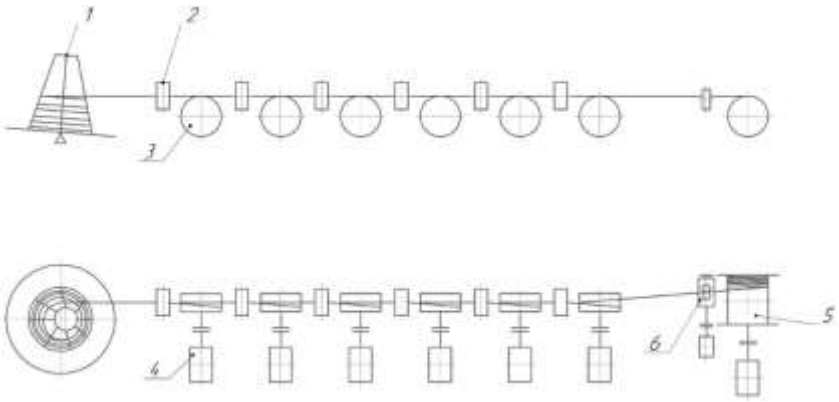


Рисунок 10. Схема агрегата волочения

1 – неприводная фигурка, 2 – роликовая волока, 3 – тянущее устройство, 4 – привод тянущего устройства, 5 – намоточный агрегат, 6 – агрегат раскладки витков.

3. Расчет энергосиловых параметров

Усилие деформации является одним из наиболее важных показателей процесса волочения. Для определения усилий по проходам было проведено эксперементальное исследование.

3.1. Определение геометрических параметров очага деформации при волочении титановых сплавов в роликовых волоках

Для определения геометрических параметров процесса волочения титановых сплавов ВТ1-0, ВТ16 было проведено экспериментальное волочение проволоки в условиях ЮУрГУ на стане В-1/650МБ, с применением роликовой волоки ВР180. Волочение проводилось последующему маршруту: 10,5-10-9-8-7-6,5-6-5,5-5-4,5-4.

В ходе эксперимента отбирались недокаты, при этом замерялись высота и ширина полосы в овальном и круглом калибрах, рассчитывалось уширение, обжатие, степень деформации и коэффициент вытяжки металла. Для определения изменения прочностных показателей металла в ходе эксперимента были отобраны образцы для испытания на разрыв, которое проводилось на разрывной машине Инстрон 5882 с усилием 150кН. Экспериментальные данные представлены в таблицах 7,8,9,10.

Таблица 7

Испытание на разрыв титанового сплава ВТ1-0

Диаметр образца, мм	εΣ,%	σт, МПа	σв, МПа
10,5	5,81	382,496	478,12
10	16,67	473,856	592,32
8,82	24,86	569,6	712
7,83	33,52	646,968	808,71
7,05	38,19	672,672	840,84
6,47	43,71	686,304	857,88
5,94	48,29	698,688	873,36
5,4	53,14	723,632	904,54
4,86	58,86	716,544	895,68
4,51	62,19	787,816	984,77

Таблица 8

Испытание на разрыв титанового сплава ВТ16

Диаметр образца, мм	εΣ,%	σт, МПа	σв, МПа
8,51	7,29	812,88	1016,1
7,99	18,45	868,168	1085,21
7,03	23,85	894,44	1118,05
6,56	29,02	914,72	1143,4
6,06	35,14	945,72	1182,15
5,48	41,01	966,328	1207,91

Для расчета усилий волочения требуется знать сопротивление металла пластической деформации σ_s по проходам. Для условий волочения принимают $\sigma_s = \sigma_т$ Так как в процессе волочения металл получает упрочнение необходимо знать закон, по которому данное упрочнение выполняется.

По полученным данным построены зависимости предела текучести от суммарной степени деформации (рисунки 13,14)

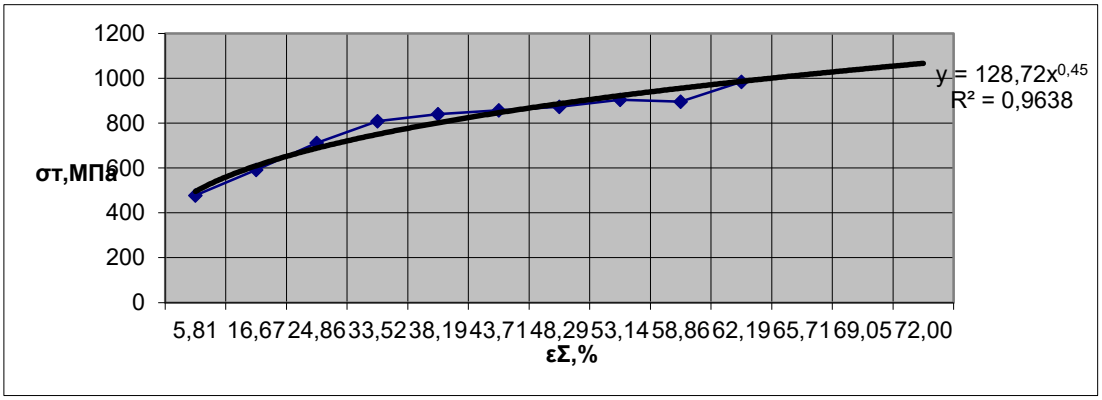


Рисунок 13 . Зависимости предела текучести от суммарной степени деформации титана марки ВТ1-0

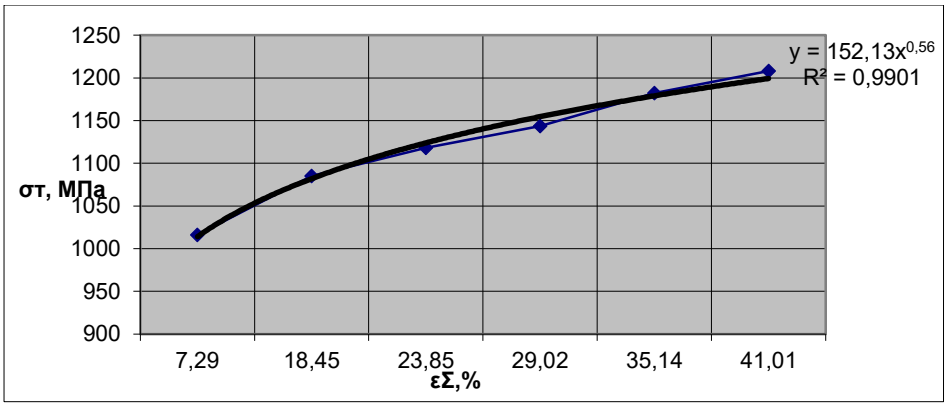


Рисунок 14. Зависимости предела прочности от суммарной степени деформации титана марки ВТ16

Таблица 9

Вт 1-0 Недокаты														
		Овал					Круг							
№прохода	Исходная заготовка	h, мм	b, мм	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	h, мм	b, мм	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	$\sigma_в$, МПа	ε_Σ,%	λ
1	10,5	9,89	10,58	0,61	0,08	5,80952	9,89	10,03	0,69	0,14	6,521739	478,12	11,281542	1,111428
2	10	8,62	10,43	1,38	0,43	13,8	8,75	8,83	1,68	0,21	16,10738	592,32	30,5555556	1,294289
3	8,82	7,66	9,21	1,16	0,39	13,1519	7,89	7,84	1,32	0,18	14,33225	712	43,5355102	1,257605
4	7,83	6,77	8,26	1,06	0,43	13,5377	6,98	6,99	1,28	0,22	15,49637	808,71	55,809161	1,256582
5	7,05	6,31	7,37	0,74	0,32	10,4965	6,49	6,47	0,88	0,16	11,9403	840,84	61,7958277	1,183666
6	6,47	5,74	6,8	0,73	0,33	11,2828	5,91	5,96	0,89	0,22	13,08824	857,88	68,3191837	1,188433
7	5,94	5,22	6,23	0,72	0,29	12,1212	5,43	5,39	0,8	0,17	12,84109	873,36	73,2563265	1,205547
8	5,4	4,7	5,71	0,7	0,31	12,963	4,92	4,93	0,79	0,23	13,83538	904,54	78,0440816	1,202197
9	4,86	4,17	5,19	0,69	0,33	14,1975	4,32	4,36	0,87	0,19	16,76301	895,68	83,0726531	1,254014
10	4,51	3,81	4,93	0,7	0,42	15,5211	3,97	4	0,96	0,19	19,47262	984,77	85,7043991	1,280863
11	3,9	3,43	4,1	0,47	0,2	12,0513	3,6	3,6	0,5	0,17	12,19512		88,244898	1,173611
12	3,55	3,15	3,78	0,4	0,23	11,2676	3,25	3,25	0,53	0,1	14,02116		90,4195011	1,193136
13	3,25	2,83	3,44	0,42	0,19	12,9231	2,94	2,95	0,5	0,12	14,53488		92,16	1,21786

Таблица 10

Вт 16 Недокаты														
		Овал					Круг							
№прохода	Исходная заготовка	h,мм	b, мм	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	h, мм	b, мм	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	$\sigma_в$, МПа	ε_Σ,%	λ
Заготовка 10,5 мм														
1	10,5	9,81	10,71	0,69	0,21	6,5714	9,95	9,91	0,76	0,1	7,096172	1046,7	10,20181	1,118103
2	9,94	8,67	10,03	1,27	0,09	12,095	8,91	8,95	1,12	0,28	11,1665	1047	27,99265	1,239002
3	8,95	8,4	9,13	0,55	0,18	5,2381	8,5	8,51	0,63	0,11	6,900329	1127,4	34,46712	1,107382
Заготовка 8,5 мм														
1	8,51	7,65	8,78	0,86	0,27	8,1905	7,89	7,93	0,89	0,28	10,13667	1016,1	14,0403	1,157468
2	7,99	6,66	8,53	1,33	0,54	12,667	6,94	6,93	1,59	0,27	18,64009	1085,21	33,49415	1,327397
3	7,03	6,34	7,39	0,69	0,36	6,5714	6,48	6,53	0,91	0,19	12,31394	1118,05	42,01831	1,167945
4	6,56	5,75	6,99	0,81	0,43	7,7143	6,04	5,97	0,95	0,22	13,59084	1143,4	49,62504	1,193429
5	6,06	5,34	6,89	0,72	0,83	6,8571	5,52	5,57	1,37	0,23	19,88389	1182,15	57,92549	1,194403
6	5,48	4,77	6,07	0,71	0,59	6,7619	5,02	5,04	1,05	0,27	17,29819	1207,91	65,20248	1,186935

Коэффициенты корреляции показывают хорошую сходимость данной аппроксимации, следовательно, ее можно использовать в расчетах для определения значений $\sigma_т$по проходам.

Для титанового сплава марки ВТ1-0 рекомендуемая максимальная степень деформации до отжига составляет максимум 60%, для сплава ВТ16 максимальная степень деформации – 30-40% [12]. Рассчитаем значения суммарной степени деформации по проходам в проектируемой схеме и определим количество отжигов:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где ε_{Σ} – суммарная степень деформации, %, F_0 – площад полосы до прохода, мм^2, F_1 – площадь полосы после прохода, мм^2.

Расчетные данные сведем в таблицу 11 .

Таблица 11

Суммарная степень деформации по проходам

№ прохода	1	2	3		4	5	6	
εΣ,%	23,08	40,83	54,48	Отжиг	23,08	40,83	54,48	Отжиг

С учетом отжигов, требуется спроектировать трехкратный волочильный стан, т.к. большее число деформаций приведет к образованию трещин готового продукта, в следствии потери пластичности. Исходя из вышесказанного, проектируемый стан примет вид (рисунок 15):

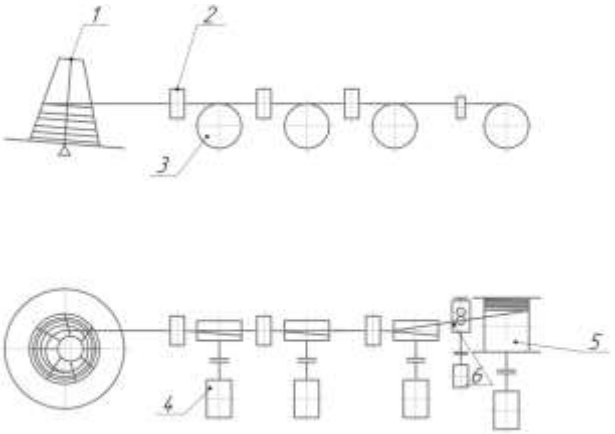


Рисунок 15. Схема трехкратного волочильного агрегата
1 – не приводная фигурка, 2 – роликовая волока, 3 – тянущее устройство, 4 – привод тянущего устройства, 5 – намоточный агрегат, 6 – агрегат раскладки витков.

Рассчитаем по полученным экспериментальным зависимостям $\sigma_т$ по проходам и сведем расчетные данные в таблицы 12,13 .

Таблица 12

Значения $\sigma_т$ по проходам для титана марки ВТ1-0

№ прохода	1	2	3		4	5	6	
σт, МПа	528,54	683,25	777,97	Отжиг	528,54	683,25	777,97	Отжиг

Таблица 13

Значения $\sigma_т$ по проходам для титана марки ВТ16

№ прохода	1	2	3		4	5	6	
σт, МПа	882,20	1214,30	1427,23	Отжиг	882,20	1214,30	1427,23	Отжиг

3.2. Расчет усилия волочения и давления металла на ролики

Расчет ведем по методике А.И. Целикова [8]. Давление металла на ролики определяется по выражению.

$$P = p_c \cdot F_г, \tag{6}$$

где p_c – среднее удельное давление металла на валки,

$F_г$ – горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками.

Среднее удельное давление определяем по выражению:

$$p_c = \beta \cdot n_\sigma \cdot \sigma_{sc}, \tag{7}$$

где β – коэффициент Лодэ, для узких полос $\beta = 1$

n_σ – коэффициент напряженного состояния определяется по методике Бровмана.

$$n_\sigma = \begin{cases} 1 \ \ при \ \dfrac{l}{h_C} \le 1; \\ 0{,}5 \cdot (\dfrac{l}{h_C} + \dfrac{h_C}{l}) \ \ при \ \ 1 < \dfrac{l}{h_C} \le 2; \\ (0{,}75 + 0{,}25 \cdot \dfrac{l}{h_C}) \ \ при \ \ 2 < \dfrac{l}{h_C} \le 4; \\ (1 + 0{,}25 \cdot \dfrac{l}{h_C}) \ \ при \ \ \dfrac{l}{h_C} > 4, \end{cases} \tag{8}$$

Где h_i – высота полосы, мм;

l – длина очага деформации, мм,

$$l = \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_в}\ ; \tag{9}$$

h_c – средняя высота в очаге деформации, мм, $R_в$ – радиус ролика.

Проектируемая роликовая волока имеет условный диаметр валков равный 50мм. Формы калибров применяемы для деформации: овал и круг.

$$h_c = \frac{h_0 + h_1}{2}\ . \tag{10}$$

Для схем прокатки круг – овал, овал – круг горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками находится по формуле:

$$F_г = \frac{3}{4} \cdot b_1 \cdot \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_в}\ , \tag{11}$$

где b_1 – ширина полосы после прохода.

Используя экспериментальные данные найдем коэффициент уширения. Для этого по экспериментальным данным найдем отношения уширения к обжатию полосы для овального и круглого калибров по проходам:

$$\frac{\Delta h}{\Delta b} = k, \tag{12}$$

где Δh - обжатие полосы в калибре, Δb – уширение полосы в калибре.

По расчетам для овального калибра коэффициент k = 0,36,

для круглого калибра коэффициентk = 0,57

Используя данный коэффициент найдем уширение в проектируемом маршруте по формуле:

$$\Delta b = k \cdot \Delta h, \tag{13}$$

Рассчитав значения уширения находи ширину полосы после каждого прохода по формуле:

$$b_1 = k + \Delta b, \tag{14}$$

где b_1 – ширина полосы после прохода.

Расчётные значения сведем в таблицы 14,15.

Таблица 14

Расчет геометрических показателей и давления металла на ролики в овальном калибре для сплава ВТ1-0

№прохода	Исходная заготовка	Овал												
		h, мм	К	b, мм	Δh, мм	Δb, мм	l,мм	hc,мм	Fг,мм	l/hc	n_σ	σт, МПа	Pc	P,Н
1	2,00	1,5	0,36	2,18	0,5	0,18	3,54	1,75	5,78	2,02	1,26	528,54	664,71	3842,44
2	1,75	1,25	0,36	1,93	0,5	0,18	3,54	1,50	5,12	2,36	1,34	683,24	915,03	4682,85
3	1,50	1,07	0,36	1,65	0,43	0,1548	3,28	1,29	4,07	2,55	1,39	777,97	1079,73	4393,66
4	1,30	0,96	0,36	1,42	0,34	0,1224	2,92	1,13	3,11	2,58	1,40	528,54	737,32	2293,24
5	1,15	0,9	0,36	1,24	0,25	0,09	2,50	1,03	2,33	2,44	1,36	683,24	929,04	2160,02
6	1,00	0,75	0,36	1,09	0,25	0,09	2,50	0,88	2,04	2,86	1,46	777,97	1139,17	2328,18

Таблица 15

Расчет геометрических показателей и давления металла на ролики в круглом калибре для сплава ВТ1-0

№прохода	Исходная заготовка	Круг												
		h, мм	К	b, мм	Δh, мм	Δb, мм	l,мм	hc,мм	Fг,мм	l/hc	n_σ	σт, МПа	Pc	P,Н
1	2	1,75	0,57	1,75	0,43	0,25	3,28	1,97	4,29	1,67	1,13	528,54	599,33	2571,90
2	1,75	1,50	0,57	1,50	0,43	0,25	3,28	1,72	3,68	1,91	1,22	683,24	831,80	3058,11
3	1,5	1,30	0,57	1,27	0,35	0,20	2,98	1,48	2,84	2,02	1,25	777,97	975,55	2772,30
4	1,3	1,15	0,57	1,12	0,27	0,16	2,61	1,29	2,18	2,03	1,26	528,54	664,50	1450,46
5	1,15	1,00	0,57	1,04	0,24	0,14	2,45	1,12	1,90	2,19	1,30	683,24	886,00	1687,58
6	1	0,90	0,57	0,86	0,19	0,11	2,18	1,00	1,40	2,19	1,30	777,97	1009,49	1416,29

Для определения усилия волочения воспользуемся методикой, предложенной В.И Гулько [9]:

$$P_в = 1{,}4 \cdot \sigma_т \cdot ln\lambda \cdot S_1, \quad (15)$$

где $P_в$ – усилие волочения, λ – вытяжка полосы за проход, S_1 – площадь полосы на выходе из роликов. Суммировав усилия в овальном и круглом калибрах получим общее усилие волочения. Расчетные значения сведем в таблицу 16:

Таблица 16

Расчетные значения усилий в овальном, круглом калибре, общее усилие волочения

№ прохода	$P_в$,овал, Н	$P_в$,круг,Н	$P_Σ$,Н
1	1643,99	1066,91	2710,90
2	1368,34	868,12	2236,46
3	910,56	573,89	1484,45
4	366,68	234,35	601,04
5	276,63	199,89	476,52
6	214,66	135,79	350,46

При движении под действием вращающегося тягового шкива проволока хорошо сцепляется со стенками его V-образной канавки и практически не может скользить ни вдоль своей собственной оси, ни перпендикулярно ей, как это имеет место на барабанах обычных волочильных машин. Благодаря этому из-за повышенного трения, создаваемого стенками V-образной канавки, почти нет потерь тяговой силы шкива на компенсацию скольжения проволоки после ее выхода из волоки. Нет и потерь на накапливание витков проволоки на боковой поверхности и преодоление сопротивления сил трения их подъему при накапливании. В результате требующаяся общая сила волочения, прикладываемая к протягиваемому металлу возле волоки, составляет лишь 2-3 % от тяговой силы шкива при сходе с него проволоки.

Рассчитаем усилие переднего натяжения, которое необходимо для осуществления процесса волочения. Для этого составим схему распределения усилий на барабане (рисунок 16) [4].

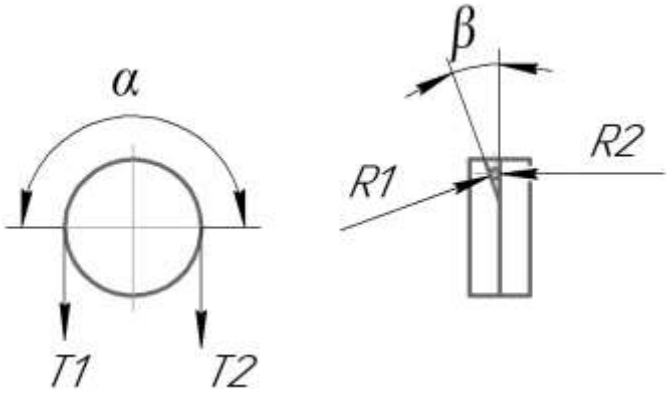


Рисунок 16. Распределение сил на барабане

T1 – усилие волочения, T2 – усилие переднего натяжения, α – угол охвата барабана проволокой, рад, β – угол конусности диска, рад, R1,R2 – реакции на проволоку от усилия волочения.

Найдем отношения усилия волочения к усилию переднего натяжения по формуле [синяя книжка]:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{\mu \cdot \alpha \cdot (1+cos\beta)}{sin\beta}}, \quad (16)$$

Произведем расчет усилия T2 для первого прохода, имеющего наибольшее значения усилия волочения. На всех остальных барабанах усилие волочения меньше, и как следствие усилие T2 будет наибольшим в первом проходе. Угол α принимаем 2200, угол β принимаем 150, коэффициент трения μ принимаем 0,15. Произведем расчет:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{0,15 \cdot 3,839 \cdot (1+cos15)}{sin15}} = 52,71$$

Зная усилие волочения в первом проходе найдем усилие переднего натяжения:

$$T_2 = \frac{2710,9}{52,71} = 51,41H$$

Данное усилие необходимо приложить к переднему концу проволоки, чтобы избежать проскальзывания проволоки на барабане.

3.3. Расчет мощности привода волочильного стана.

Рассчитаем момент, необходимый для вращения барабана при данных усилиях волочения, при том что проектируемый агрегат имеет постоянные диаметры барабанов, которые равны 200мм по формуле [10]:

$$M_б = P_\Sigma \cdot R_б, \quad (16)$$

где $M_б$ – момент на шайбе, $R_б$–радиус шайбы.

Расчетные значения сведем в таблицу 17.

Таблица17

Крутящий момент на шайбе

№ прохода	1	2	3	4	5	6
$M_б$,Нм	271,09	223,65	148,44	60,10	47,65	35,05
V, м\с	0,8	1,05	1,36	1,77	2,3	3
n, об\мин	77,2	100,3	130,4	169,6	220,5	286,6

Принимаем частоту вращения двигателя 3000 об/мин. Найдем необходимые передаточные отношения:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{бi}} \quad (17)$$

Расчетные значения передаточных отношений сведем в таблицу 18

Таблица18

Передаточные отношения по проходам

№ барабана	1	2	3	4	5	6
i	10,47	13,61	17,69	23,00	29,89	38,86

Мощность на валу электродвигателя определяем по формуле:

$$N_{дв} = \frac{n_2 \cdot M_{дв.}}{9550} \quad (18)$$

где n_2-частота вращения вала электродвигателя;

$M_{дв.}$-крутящий момент на электродвигателе:

$$M_{дв.} = \frac{M_{кр}}{i \cdot \eta}, \quad (19)$$

где i-передаточное число редуктора,

η-коэффициент полезного действия, для цилиндрического редуктора равный 0,97. Результаты расчетов сведем в таблицу 19.

Таблица 19

Значения крутящих моментов и мощностей двигателей

№ барабана	Мкр, Нм	i	Мдв, Нм	Nдв, кВт
1	271,09	38,86	7,191823	2,259211
2	223,65	29,89	7,713851	2,423199
3	148,44	22,99	6,656413	2,09102
4	60,1	17,68	3,504455	1,100876
5	47,65	13,06	3,761387	1,181587
6	35,05	10,46	3,454495	1,085182

По приведенным расчетам выбираем мотор - редуктор МЦ2С-80 исполнение на лапах, технические характеристики приведены в таблице 20. Габаритные и присоединительные размеры представлены в таблице 21.

Данный мотор-редуктор, для унификации оборудования, установим на все три волочильные блока

4. Описание конструкция волочильного стана

Волочильный стан (черт. № 00.00.00.00.00.00 ВО) состоит из неприводного разматывателя 1, трех волочильных блоков 2 и намоточного аппарата.

Волочильный блок (черт. № 00.02.00.00.00.00 СБ) включает устройство регулировки натяжения 1, тянущей шайбы 3 с приводом от мотор-редуктор МЦ2С-80-280-3 Ц У3. В качестве деформирующего устройства установлена роликовая волока 2. Оборудование блока закреплено на раме 4. Для обеспечения большего угла охвата тянущей шайбы проволокой, предусмотрен обводной ролик 12.

Для охлаждения шайбы и рабочих роликов роликовой волоки предусмотрена замкнутая система подачи охлаждающей жидкости с защитным кожухом 6. На блоке

предусмотрена система экстренной остановки стана 5. При изменении положения рычага, питание стана отключается.

Устройство регулировки натяжения 1 проволоки между блоками состоит из 2х пар взаимно перпендикулярных роликов, закрепленных на неподвижных осях и одного ролика, ось которого закреплена на подвижном рычаге. Рычаг в свою очередь одним концом закреплен на оси вращения, а вторым опирается на тензодатчик. При изменении давления проволоки на ролик, датчик дает сигнал на изменение частоты вращения предыдущего двигателя, что обеспечивает постоянство натяжения проволоки.

Узел тянущей шайбы (черт. 00.02.02.00.00.00 СБ) состоит из двух шайб: конической 1 и цилиндрической 2, стянутых между собой болтами 5. Располагаясь вместе в виде одной детали, обе половины шкива образуют на своей общей боковой поверхности V-образную канавку. Шайбы в сборе крепятся на вал мотор-редуктора при помощи дистанционной втулки 3, упорной крышки 4 и болта 8. Все тяговые шкивы на машине располагаются осями вращения вертикально на горизонтально установленной панели с механизмами привода.

Кроме того, замена обычных волочильных барабанов большой высоты, имеющих сложную систему водного и воздушного охлаждения, простыми по конструкции и способу охлаждения (только водой снаружи) тяговыми шкивами, улучшает условия эксплуатация оборудования, устраняет его большие простои, вызванные трудностью удаления осадков, образующихся из охлаждающей воды на внутренних поверхностях барабанов. Нет простоев, связанных с необходимостью накапливания витков проволоки на промежуточных барабанах.

При износе V-образной канавки тягового шкива обе его половины снимают с конца вертикального вала мотор - редуктора, поворачивают другой стороной и ставят обратно на место. В результате шкив получает новую V-образную канавку, с которой можно продолжать работу на данном блоке до тех пор, пока и она не износится до конечного предела.

Стоимость тяговых шкивов машины существенно ниже, чем обычных волочильных барабанов, поэтому можно иметь определенное количество таких шкивов в запасе.

Таблица 20

Технические характеристики мотор-редуктора МЦ2С-80-280-3 Ц У3

номинальная частота вращения выходного вала, об/мин	номинальный крутящий момент на тихоходном валу, Н•м	масса мотор-редуктора, без смазки, не более, кг	электродвигатель		
			типоразмер	мощность, кВт	частота вращения, об/мин
280	290	47	АИР100S2Р3	3	3000

Таблица 21

Габаритные и присоединительные размеры мотор-редуктора МЦ2С-80-280-3 Ц У3

мотор-редуктор	тип электродвигателя	L	H	B	h_1	A	A_1	E	G	D	h	K
МЦ2С-80	100S2	602	31 7	225	170-0,5	115+/-0,7	180+/-0,7	75	22	15	18	175

Узел тянущей шайбы (черт. 00.02.02.00.00.00 СБ) состоит из двух шайб: конической 1 и цилиндрической 2, стянутых между собой болтами 5. На конической шайбе 1 выполнены конуса под углом 15^0 с двух сторон, вторая 2 имеет форму цилиндра. Данное решение позволяет, при износе рабочей поверхности шайб, смену рабочих поверхностей путем их поворота. Шайбы в сборе крепятся на вал мотор-редуктора при помощи дистанционной втулки 3, упорной крышки 4 и болта 8.

Остальные два блока конструктивно выполнены идентично и соединены между собой болтами.

Разматыватель предназначен для установки и подачи заготовки на линию волочения. Конструкция разматывателя изображена на рисунке 17, черт. № 00.01.00.00.00.00 СБ:

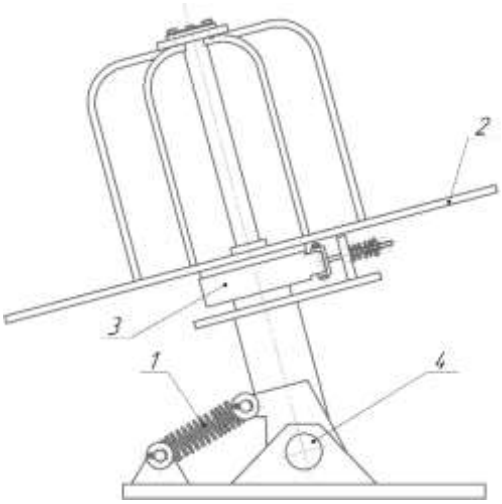


Рисунок 17. Не приводная фигурка

Бунт укладывается на фигурку 2, закрепленную на наклонной оси разматывателя. Под действием тянущего усилия волочильного стана, фигурка начинает вращаться, выдавая проволоку. Во избежании самопроизвольного раскручивания фигурки предусмотрен фрикционный тормоз 3, имеющий регулировку силы торможения фигурки. Для предотвращения обрывов проволоки на линии волочения, предусмотрен конечный выключатель, расположенный на оси 4. При спутывании витков проволоки в бунте, под действием тянущего усилия стана, фигурка наклонится в сторону движения металла. Конечный выключатель подаст сигнал на отключение стана. После этого оператор стана должен распутать

проволоку. Фигурка вернется в исходное состояние под действием пружины 1, закрепленной на кронштейне основания.

Намоточный аппарат (черт. 00.03.00.00.00.00 СБ) состоит из двух узлов: раскладчика витков 1 и моталки 2.

Раскладчик витков предназаначен для раскладки проволоки виток к витку на барбане моталки. Для этого предусмотрена перемещающаяся каретка с направляющими роликами. В опоре каретки смонтирована гайка с установленным приводным винтом и двумя направляющими валами, установленными в подшипниках скольжения.

Привод винта осуществлен при помощи мотор-редуктора NMRVO 50-280- У3. Приводной винт вращаясь перемещает каретку. Для реверса каретки, предусмотрены конечные переключатели направления вращения мотор-редуктора.

Весь механизм раскладчика витков расположен на кронштейне 2, закрепленном на раме третьем блоке волочильного стана.

Моталка 2 состоит из электродвигателя АИР80В2, клиноременной передачи, червячного редуктора. Выходной вал редуктора соединен с помощью втулочно-пальцевой муфтой МУВП с валом намоточного барабана. Намоточный барабан состоит из двух щек, промежуточной трубы с продольным разрезом, входящей в кольцевые пазы щек, стянутых шпильками. Крутящий момент передается через шпоночное соединение. Узел барабан, в осевом направлении, закреплен на валу при помощи упорной крышки и болта.

5. Описание конструкции роликовой волоки.

Роликовая волока черт. № 00.02.01.00.00.00 СБ, рисунок 18, состоит из двух идентично выполненных узлов горизонтальных и вертикальных роликов черт. № 00.02.01.01.00.00 СБ, стянутых болтами.

В цельнофрезерованной станине 1 расположены роликовые узлы нижнего и верхнего роликов.

Узел нижнего ролика состоит из оси 2, на котором установлена по посадке промежуточная втулка 8 с резьбой по одному краю и буртом по второму. На втулке 8 установлены конические роликовые подшипники 15. Сборка и регулировка данного

узла осуществляется с помощью гайки 11, фиксируемая при помощи винта 18. Усилие от гайки передается на внутреннее кольцо первого подшипника, затем через промежуточное дистанционное кольцо 14 на внутреннее кольцо второго подшипника, которое в свою очередь упирается в бурт втулки 8. Для герметичности подшипниковых узлов установлены уплотнительные крышки 9. Данная конструкция позволяет собирать и регулировать подшипниковый узел вне станины, что существенно упрощает сборку.

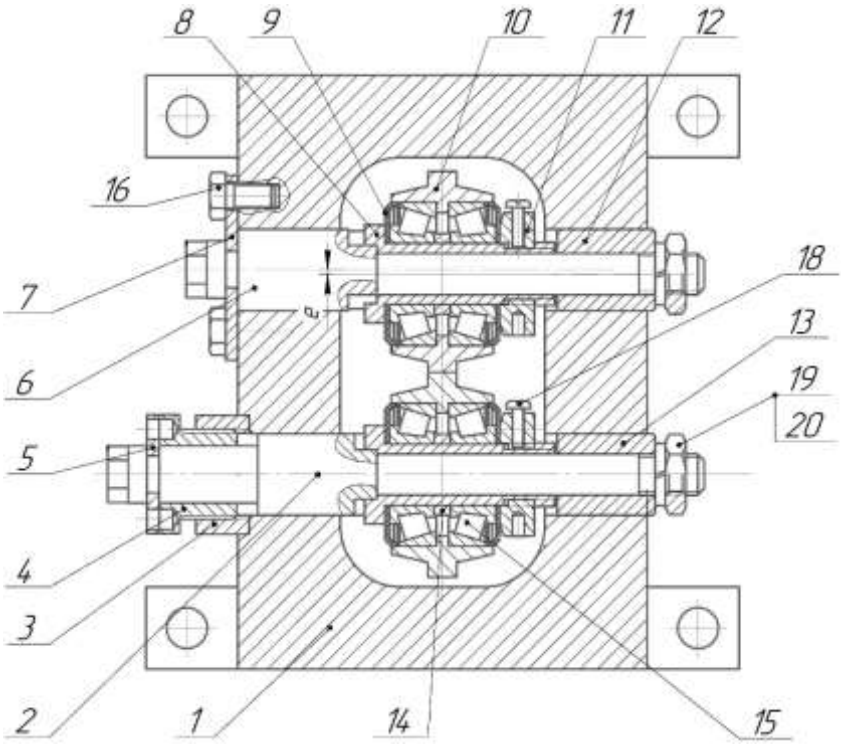


Рисунок 18 .Конструкция роликовой волоки

1 – станина, 2 – ось нижнего ролика, 3 – втулка, 4 – зажимная гайка, 5 – стопорная планка, 6 – ось верхнего ролика, 7 – стопорная планка, 8 – промежуточная втулка, 9 – уплотнительные крышки, 10 – рабочий ролик, 11 – фиксирующая гайка, 12 – эксцентриковая втулка, 13 – цилиндрическая втулка, 14 – дистанционное кольцо, 15 – подшипник, 16 – фиксирующий болт, 18 – контрящий винт, 19,20 – гайка с гровером.

Ось одним концом установлена на цилиндрической втулке 13, а вторым опирается на станину. Для фиксации втулки 8 от проворота на втулке предусмотрены

выступы, а на оси ответные пазы. С другого конца втулка 8 фиксируется гайкой с гровером 19,20.

Для осевой регулировки и сборки калибра предусмотрено перемещение нижнего роликового узла в осевом направлении с помощью втулки 3, имеющей внутреннюю резьбу, зажимной гайки 4, имеющей наружную резьбу и стопорной планки.

При волочении, на разработанном стане, проволока изгибается только в одной - в горизонтальной плоскости, благодаря чему моток ее не свертывается в "восьмерку" и не распушивается в свободном состоянии. В значительной степени этому же способствует то, что длина участка проволоки между двумя волоками соседствующих блоков машины мала, а поступает она в волоку прямо и строго по оси и деформируется в очаге деформации симметрично. Все это способствует повышению стойкости роликов, сокращению числа переходов волочения и увеличению его скорости и повышает качество протянутой проволоки. Последнее обеспечивается также отсутствием скручивания проволоки в процессе волочения и ее более интенсивным, чем при волочении в фильерах, охлаждением, устраняющим, деформационное старение протянутого металла, благодаря чему достигаются наилучшие механические и технологические свойства готовой проволоки.

Характерной для обычных волочильных машин проблемы, связанной с сопротивлением подъему витков накапливаемой проволоки по поверхности вертикальных барабанов и зависящей от условий трения на них и их охлаждения, на разработанной машине нет.

При волочении через монолитные фильеры существует необходимость сушки проволоки перед входом в мыльницу, так как влага с поступающей проволокой, попадая на сухую смазку, смачивает ее. Условие захвата смазки металлом ухудшаются. В разработанном волочильном стане этого недостатка нет, так как используются роликовые волоки, волочение в которых не предусматривает сухую смазку.

6. Прочностные расчеты элементов роликовой волоки

6.1. Расчет оси ролика на прочность

Схема нагружения оси представлена на рисунке 19.

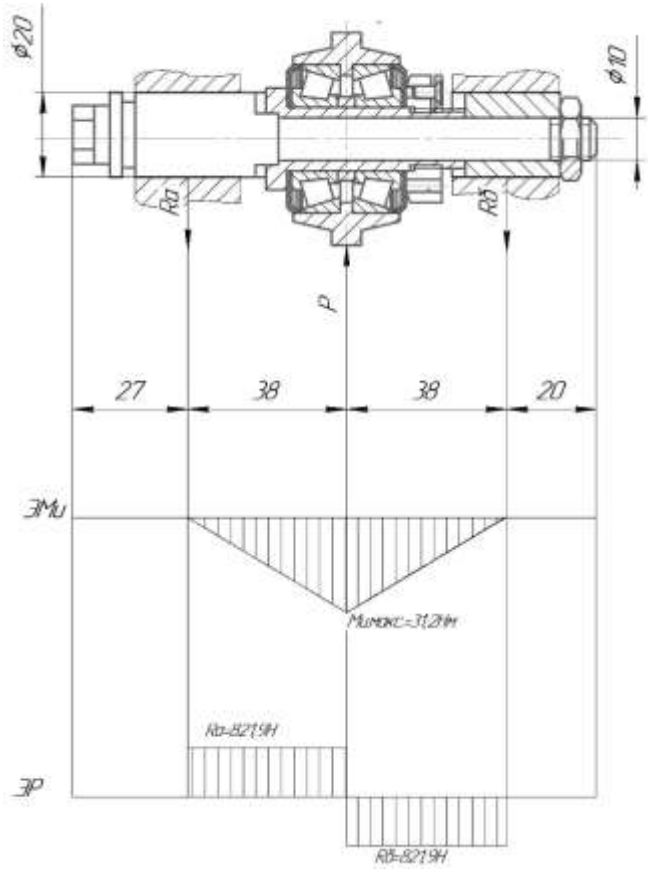


Рисунок 19. Схема нагружения оси ролика

Так как все роликовые волоки имеют одинаковую конструкцию, расчет ведем по наиболее нагруженному участку. Наибольшую нагрузку имеет ось расположенная в овальном калибре первого прохода, усилие на нее составляет 1643,99Н.

Данная ось не подвержена кручению, поэтому расчет ведем только на изгиб.

Найдем реакции опор по условию равновесия вала [11]:

$$\Sigma M = 0, \tag{20}$$

Найдем сумму моментов относительно точки А:

$$\Sigma Ma = P \cdot 38 - Rб \cdot (38 + 38) = 0 \tag{21}$$

$$Rб = \frac{P \cdot 38}{(38 + 38)} = \frac{1643{,}99 \cdot 38}{38 + 38} = 821{,}9Н$$

Найдем сумму моментов относительно точки Б:

$$\Sigma Мб = -Р \cdot 38 + Ra \cdot (38 + 38) = 0 \quad (22)$$

$$Ra = \frac{P \cdot 38}{(38 + 38)} = \frac{1643{,}99 \cdot 38}{38 + 38} = 821{,}9Н$$

Найдем изгибающий момент, действующий на ось по формуле:

$$Мизг = \frac{P \cdot L}{4} = \frac{1643{,}99 \cdot 0{,}076}{4} = 31{,}24 \text{ Нм} \quad (23)$$

Где L – длина между опорами ролика, 76мм.

Согласно третьей теории прочности, причиной разрушения материала считается сдвиг, вызываемый касательными напряжениями. Следовательно, материал разрушается, когда наибольшее касательное напряжение достигает значения, предельного для данного материала по условию:

$$\sigma_{экв.} = \sqrt{\sigma_{из.}^2 + 4 \cdot \tau_{кр}^2} \leq [\sigma] \quad (24)$$

Напряжение изгиба $\sigma_{из.}$ в опасном сечении, рассчитаем по формуле:

$$\sigma_{из.} = \frac{М_{из.}}{0{,}1 \cdot d^3} \leq [\sigma_{из.}], \quad (25)$$

где $М_{из.}$-максимальный изгибающий момент на валу;

d-диаметр вала, 10мм;

$$\sigma_{из.} = \frac{31240}{0{,}1 \cdot 10^3} = 312{,}4 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{экв.} = \sqrt{312{,}4^2} = 312{,}4 МПа.$$

Принимаем материал оси сталь 65Г ГОСТ 2590-2006. После термообработки $\sigma_в$ =1470Мпа, $\tau_{ср}$ = 210Мпа.

Найдем допустимое напряжения задав коэффициент запаса прочности [n]=3:

$$[\sigma] = \frac{\sigma в}{3} = \frac{1470}{3} = 490 МПа$$

$$\sigma_{экв.} \leq [\sigma], \quad (26)$$

Условие выполняется.

6.2. Расчет подшипников

В конструкции используется роликовый конический подшипник 7202. Рассчитаем подшипник по следующей методике [11]. Эквивалентную динамическую нагрузку на подшипник рассчитываем по формуле:

$$P_r = (V \cdot X \cdot F_r + Y + F_a) \cdot K_Б \cdot K_T, \quad (27)$$

где Fr – радиальная нагрузка;

Fa – осевая нагрузка;

X, Y – коэффициенты, учитывающие нагрузки;

КБ – коэффициент безопасности (1,2);

КТ – температурный коэффициент (1,1);

V – коэффициент вращения (1).

Радиальную нагрузку принимаем из расчета вала на прочность, приведенного выше, по реакциям в опорах. Осевое усилие принимаем равным нулю.

Коэффициент, учитывающие нагрузку X=1, Y=0, так как осевая сила отсутствует.

Подставляя все значения в формулу, получим:

$$Pr = (1 \cdot 1 \cdot 1643{,}99 + 0 + 0) \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}1 = 2170{,}06\text{Н}$$

Принимаем ресурс работоспособности подшипника Lh=10000 ч.

Расчетный ресурс подшипника рассчитываем по формуле:

$$L_p = a_{23} \cdot \left(\frac{C_0}{P_r}\right)^k \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}, \quad (28)$$

где a23 – коэффициент, который характеризует влияние на ресурс особых свойств подшипника и условий эксплуатации (0,9);

C0 – базовая динамическая грузоподъемность (10,5кН);

n – число оборотов (152,7 об/мин);

k – показатель степени для роликовых подшипников (3).

$$L_p = 0{,}9 \cdot \left(\frac{10{,}5}{2{,}1}\right) \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 152{,}7} = 12278{,}9\text{ч}$$

Сравниваем полученные L_h и L_p:

$$L_h \leq L_p, \quad (29)$$

Полученный ресурс удовлетворяет требованиям, подшипник работоспособен.

7. Выбор вспомогательного оборудования стана

К вспомогательному оборудованию для производства титановых профилей можно отнести оборудование не задействованное в процессе деформации, это неприводная фигурка, острильный агрегат, отжиговая печь.

Острильный агрегат предназначен для заострения переднего конца заготовки, для беспрепятственной задачи ее в роликовую волоку. Острильный агрегат выбирается по наименьшему диаметру готового профиля. В данном случае острильный агрегат должен иметь наименьший ручей размера 0,75мм. Данным условиям удовлетворяет агрегат SGT170 фото которого представлено на рисунке 11, технические характеристики в таблице 5 [6].

Рисунок 11. Острильный агрегат для проволоки SGT170

Таблица 5

Техническая характеристика острильного агрегатаSGT170

Модель	Диаметр роликов, мм	Диапазон острения, мм	Число проходов	Скорость ролика, об/мин	Мощность двигателя, кВт	Чистый вес, кг
SGT170	50	3,55-0,68	8 желобков	40	1,5	130

В процессе деформации титан и его сплавы упрочняются, повышаются все прочностные характеристики и уменьшаются пластические. По достижении

определенной степени деформации наступает предел прочностных характеристик и металл начинает растрескиваться. Чтобы исключить данный фактор из производства необходимо предусмотреть промежуточные отжиги (если такие необходимы).

В ряде случаев титановая проволока поставляется в отожжённом состоянии, для этого необходимо после получения готовой продукции ее отжечь. Отжиг титановых сплавов производят в вакуумных печах, либо в печах с контролируемой атмосферой (в среде инертных газов). Это обусловлено тем, что титан в горячем состоянии обладает хорошим сродством с кислородом и водородом. На его поверхности образуется оксидная пленка – альфированный слой. Данный слой недопустим на конечной продукции и требует удаления, т.к. он очень хрупок и прочностные показатели изделия значительно понижаются. Исходя из вышесказанного, к печи предъявляются следующие требования:

1. Печь должна вмещать полученную бухту целиком.
2. Печь должна иметь систему вакуумной установки, либо систему контроля атмосферы.
3. Температурный режим должен обеспечивать диапазон температур от 650^0C до 1100^0C, с погрешностью $\pm 5^0$C.

Данным условиям удовлетворяет печь ERSTEVAKVAV - 0608 фото которой представлено на рисунке 12 [6].

Рисунок 12. Вакуумная печь для проведения отжига ERSTEVAK , VAV- 0608

Печь предназначена для отжига и нормализации изделий из инструментальных, штамповых, быстрорежущих, высокопрочных и нержавеющих сталей, магнитных

материалов, цветных сплавов и др. Рабочее давление: от 10^{-2} до $5x10^{-6}$ Торр. В таблице 6 представлены технические характеристики печи VAV– 0608.

Таблица 6.

Техническая характеристика отжиговой печиVAV (VacuumAnnelingVertical)-0608.

Модель	VAV-0608
Количество рабочих камер	1
Размеры рабочей камеры (ШхВхГ), мм	Ø600x800
Вес садки, кг	650
Рабочая / Максимальная температура, °C	1150/1350
Давление газа охлаждения, бар	2
Рабочий газ	Ar/N
Предельный вакуум, мбар	5×10-2/5×10-5
Скорость натекания, Па/час	0,67
Однородность температуры, °C	±5
Мощность нагрева, кВт	120

8. Повышение эксплуатационных характеристик роликов с помощью аддитивных технологий.

На данном этапе развития волочильного инструмента (рабочих роликов), большинство роликов изготавливают из инструментальных марок сталей (9хс, хвг, х12мф и т.д.). такие ролики показывают хорошую работоспособность, при относительной дешевизне их изготовления. Так же ролики изготавливают с применением твердых сплавов (ВК6, ВК8 и т.д.), при чем ролик может быть выполнен бандажированным, либо цельным. Бандажированные ролики дешевле, но сложнее в изготовлении, для опорных колец бандажа используют стали с минимальным объемным расширением, так как при волочении ролик нагревается и бандаж испытывает растягивающие напряжения (вплоть до разрушения бандажа). Цельные ролики очень дороги и трудоемки в изготовлении.

Основным показателем эксплуатационных характеристик рабочих роликов является износостойкость. Наибольшей износостойкостью обладают ролики выполненные из твердого сплава, т.к. твердость рабочей поверхности, от которой зависит износ, у них достигает 80HRC. Твердость рабочей поверхности роликов выполненных из инструментальных марок сталей находится в пределах 56-60HRC, следовательно, они менее износостойкие.

Для уменьшения износа рабочих роликов, выполненных из инструментальных марок сталей предлагается нанести на рабочую поверхность слой карбида. Для обеспечения работоспособности данного композитного слоя необходимо чтобы подложка после нанесения слоя карбида вольфрама оставалась твердой, т.к. при ее разупрочнении деформируемая титановая проволока может продавить износостойкий слой и произойдет его отслоение, либо растрескивание.

8.1. Подготовка образцов для испытаний на износоустойчивость.

Для изготовления роликов обычно используют кованную заготовку, со степенью укова не менее 5. Ковка благоприятно сказывается на структуре металла, что в свою очередь повышает эксплуатационные характеристики металла.

Для изготовления образцов на абразивную устойчивость была принята сталь марки х12мф, как наиболее износостойкая и актуальная на сегодняшний день.

Исходной заготовкой для образцов служил горячекатаный круглый пруток, диаметром 60мм. От прутка на ленточной пиле отбирались образцы толщиной 15мм, затем протягивались на молоте в пруток условным диаметром 16мм (рисунок 20).

Рисунок 20 . Кованная заготовка для образцов.

Для получения правильной геометрической формы проводилась токарная обработка прутков до диаметра 12мм и длины 20мм (рисунок 21).

Рисунок 21. Образцы после токарной обработки

Для получения необходимой твердости образцы подвергались термообработке. При чем термообработка проводилась по 4 режимам:

1) 1050^0С – масло, отпуск 220^0С – 2 ч.
2) 1050^0С – масло, охлаждение в жидком азоте – 20 мин., отпуск 220^0С – 2ч.
3) 1070^0С – масло, отпуск 550^0С – 1,5 ч.
4) 1070^0С – масло, охлаждение в жидком азоте – 20 мин., отпуск 550^0С – 1,5ч.

Первый и второй режимы термообработки является классическим для стали х12мф. Второй режим включает охлаждение в жидком азоте, что способствует более

полному распаду аустенита, соответственно повышает объемную твердость и как следствие износостойкость, без потери прочностных характеристик. Достоинствами такой термообработки являются: высокая коррозионная устойчивость обрабатываемой стали, стабильные механические свойства по сечению, малые коробления деталей, простота проведения. Недостатками данной термообработки являются: разупрочнение термообработанной детали при повышенных температурах (более 350^0С).

Третий и четвертый режимы термообработки включают высокотемпературный отпуск закаленных заготовок. Данный отпуск способствует выпадению карбидов на границах зерен и получению более износостойкой структуры. Введение дополнительной обработки жидким азотом приводит к более полному распаду аустенита, что благоприятно сказывается на структуре, объемной твердости и как следствие износостойкости металла. Достоинствами данной термообработки являются: высокая износостойкость, высокая ударная вязкость, хорошая работоспособность при повышенных температурах.

Закалка проводилась в печи ПКЛ-1,2-36 (рисунок 22).

Рисунок 22. Закалочная печь

Технические характеристики печи:

Диапазон рабочих температур, ^{0}С……..200-1400

Аварийная температура, ^{0}С……..……...1440

Размер камеры, мм…….……300х300х400

Питание, В……220

Потребляемая мощность, кВт…….5,7

Погрешность задания температуры, ^{0}С……..……±5

Замер твердости поверхности проводился на твердомере ТК2-М. Полученные значения твердости после термообработки приведены в таблице 22.

Таблица22

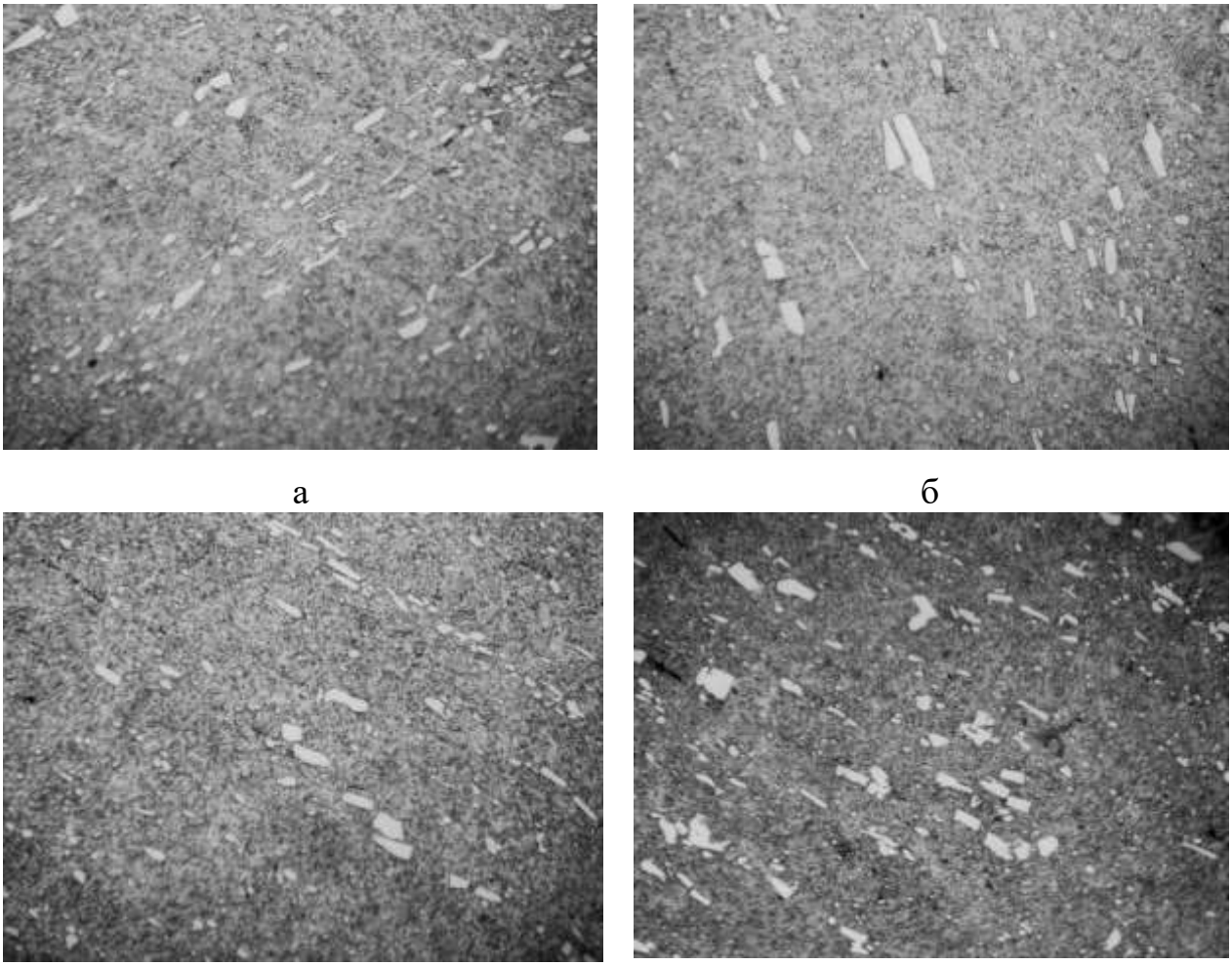
Твердость образцов после термообработки

	Твердость, HRC						Средняя твердость, HRC
Режим\№ образца	1	2	3	4	5	6	
1	61,1	59,6	59,6				60,1
2	62,7	61,9	61,9	61,2	62,7	61,9	62,05
3	59,6	60,4	61,1				60,37
4	61,1	60,4	61,1	60,4	60,3	60,3	60,6

Закаленные образцы исследовались на наличие остаточного аустенита и структуру стали после закалки. Фото микроструктуры стали представлено на рисунках 23 а,б,в,г.

8.2. Получение износостойкой поверхности образцов.

Для получения износостойкой поверхности наносился слой порошкового карбида вольфрама с помощью детонационного напыления. Данное покрытие обладает высокой твердостью и износостойкостью, но при этом недостаточно надежно закреплено на образце. Чтобы обеспечить хорошую прочность сцепления покрытия с основным металлом проводилось проплавление поверхности образцов с помощью установки лазерного спекания.



а б

в г

Рисунок 23. Микроструктура стали марки Х12МФ после термической обработки
а – режим № 1; б – режим № 2; в – режим № 3; г – режим № 4

Нанесение карбида вольфрама производилось в научно-исследовательской лаборатории «Механики, лазерных процессов и цифровых производительных технологий», ЮУрГУ. Общий вид детонационной установки представлен на рисунке 24 .

Для нанесения износостойкого слоя использовался порошок карбида вольфрама фракцией 40-60 мкм. Параметры нанесения порошкового карбида вольфрама представлены в таблице 23.

Таблица 23

Параметры детонационного напыления

Количество выстрелов	Толщина полученного слоя, мм	Диметр эффективного пятна напыления, мм
25	0,2	22

Рисунок 24 . Детонационная установка

Замер температуры, при детонационном напылении производился с помощью переносного пирометра DT-9860. Технические характеристики представлены в таблице 24.

Таблица 24

Технические характеристики пирометра DT-9860

Параметр	Диапазон	Погрешность	Дискретн.	Повторяем.
ИК-датчик (температура поверхности)	−50...20°C	±3,5°C		±1,5°C
	20...500°C	±(1% + 1°C)	0,1°C	±0,5% или ±0,5°C*
	500...1000°C	±1,5%	1°C	

Замеры пирометром показали, что температура колебалась в пределах 70-80^{0}C, разогрев поверхности образцов минимальный, следовательно, разупрочнения поверхности не происходит.

После нанесения порошкового карбида вольфрама на поверхность образцов производили проплавление поверхности с помощью установки лазерного спекания (рисунок 25). При этом возникает интенсивный разогрев металла, происходит сплавление карбида вольфрама с основным металлом с образованием износостойкой

поверхности, происходит разупрочнение основного металла, что неблагоприятно сказывается на работоспособности ролика.

Рисунок 25. Установка лазерного спекания

Параметры процесса лазерного спекания приведены в таблице 25.

Таблица 25

Параметры процесса лазерного спекания

Мощность лазера, Вт	Смещение лазерного луча, мм	Скорость перемещения лазерного луча, мм/с	Диаметр пятна лазерного луча, мм
700	1,4	12	2

Путь лазерного луча по образцу схематично изображен на рисунке 26.

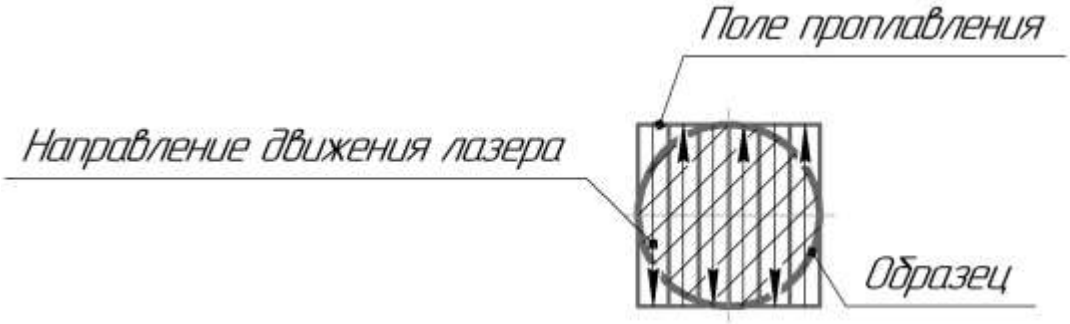
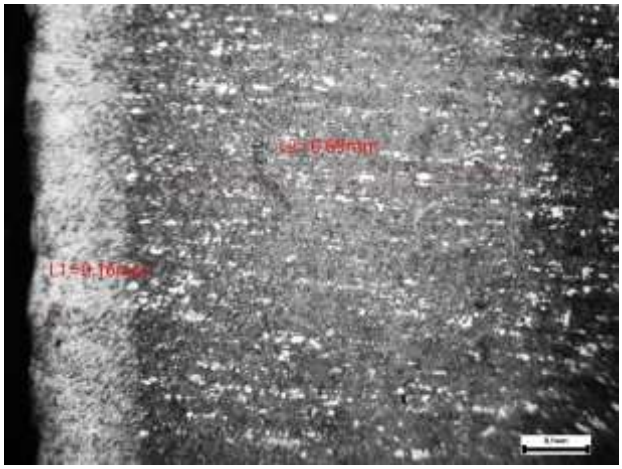


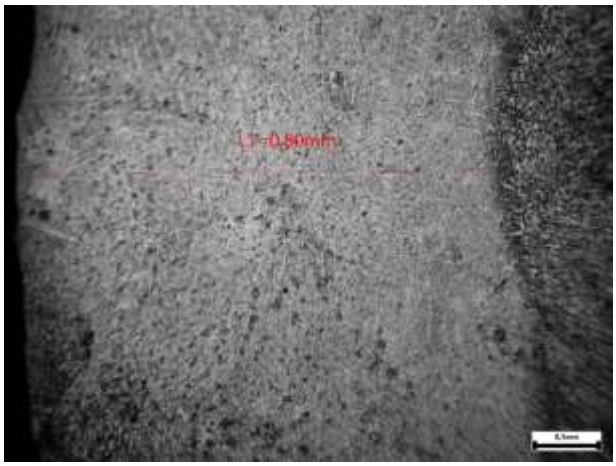
Рисунок 26 . Схема перемещения лазерного луча

После нанесения покрытия проводилось исследование образцов на структуру, с выявлением наплавленного слоя, переходного слоя, слоя основного металла. Результаты исследования показаны на рисунках 27а,б,в,г.

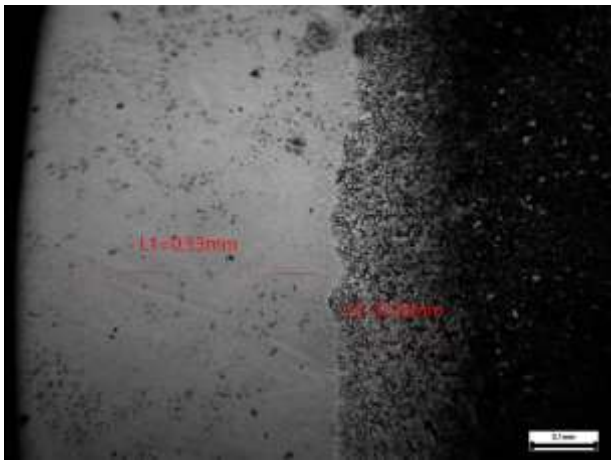


а

б



в



г

Микроструктура наплавленного поверхностного слоя материала при различных режимах термической обработки стали марки Х12МФ

а – режим № 1; б – режим № 2; в – режим № 3; г – режим № 4

Для выявления разупрочнения металла от разогрева в процессе нанесения покрытия карбида вольфрама была исследована микротвердость образцов по сечению. Для этого исследуемый образец разрезался вдоль оси и производились замеры микротвердости. Результаты замеров приведены в таблице 26.

Таблица26

Результаты измерения микротвердости поверхностного слоя образцов

Режим термической обработки	Твердость, HV (HRC)			
	поверхность	ЗТВ	Зона перемешивания	Основной
1	447 (45)	638 (56)	708 (59)	640 (56)
2	711 (59)	403 (42)	445 (45)	781 (61)
3	1057 (>67)	403 (42)	673 (58)	652 (57)
4	942 (67)	400 (42)	722 (60)	551(52)

8.3. Описание установки для определения износостойкости.

Для количественной оценки повешения износостойкости произведено исследование по абразивной устойчивости инструментальных марок сталей в закаленном состоянии и образцов с покрытием карбида вольфрама. Для проведения данного эксперимента было спроектировано и изготовлено устройство для определения износостойкости, схема которого представлена на рисунке 28.

Устройство и принцип работы: на ось 2 устанавливались абразивные камни 3 (ГОСТ Р 52781-2007) диаметром 100мм, высотой 50мм. Для обеспечения большего пути образца использовалось два камня. Размер абразива 16мкм, зерно керамическое.

Абразивный круг 3 через промежуточные шайбы 5 устанавливается на ось 2 и фиксируется гайкой 5. Промежуточные шайбы необходимы для предотвращения растрескивания абразивного камня.

Затем ось 2, с закрепленными абразивными камнями, устанавливалась на токарный станок, одним концом зажималась в трехкулачковый патрон 1, а вторым фиксировалась задней бабкой с центром 6.

Далее в корпус 10 помещался шток 9. Шток и отверстие в корпусе выполнены по посадке с зазором, что обеспечивает беспрепятственное перемещение штока внутри корпуса.

На шток действует пружина 11, обеспечивающая прижим образца к абразивному кругу. Регулировку усилия пружины осуществляем болтом 12, в котором сделано сквозное отверстие. В отверстие вставлена микрометрическая головка 13, зафиксированная винтом 17.

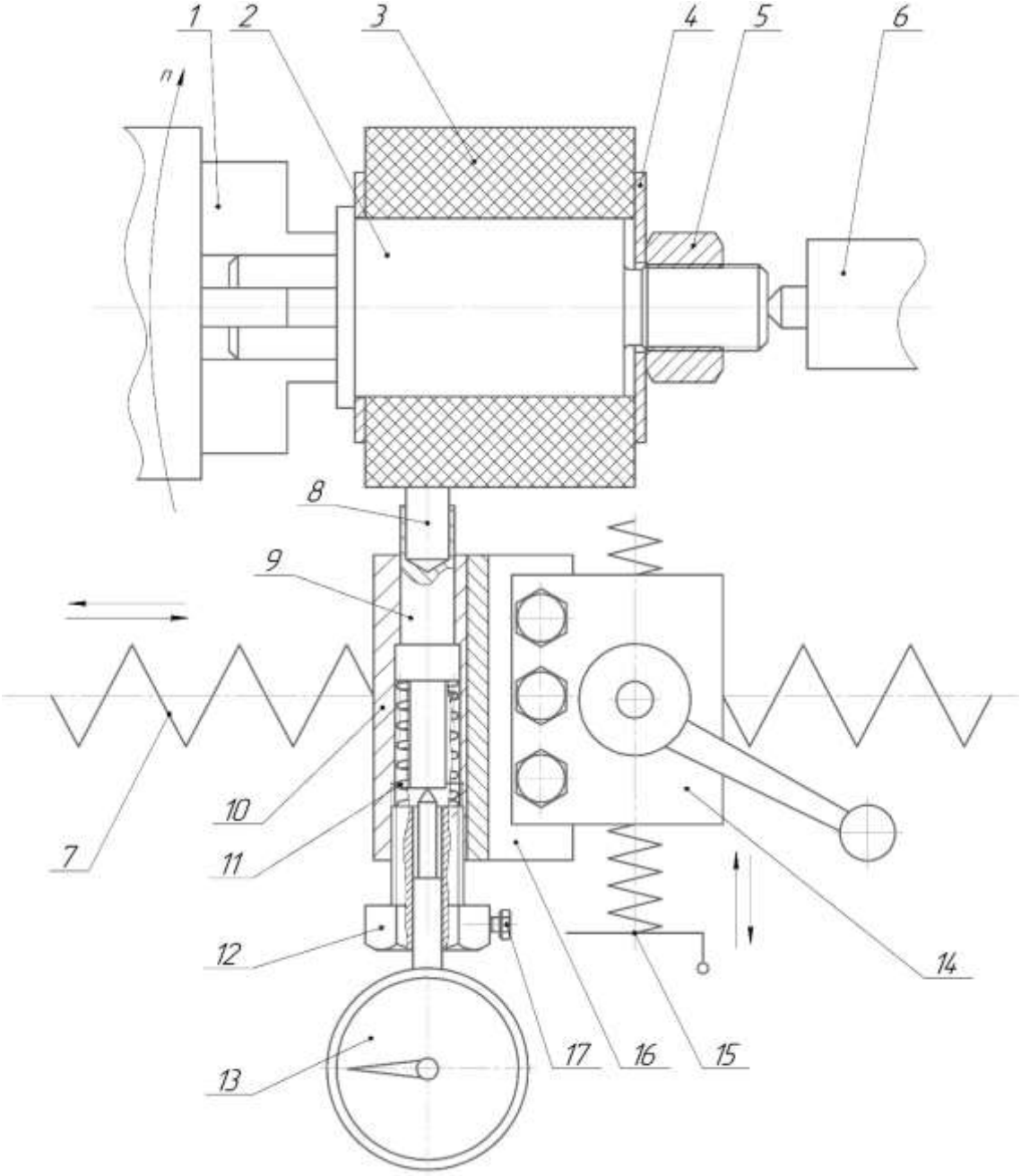


Рисунок 28 . Принципиальная схема устройства для определения износоустойчивости.

1 – трехкулачковый патрон токарного станка, 2 – ось, 3 – абразивный круг, 4 – промежуточная шайба, 5 – фиксирующая гайка, 6 – задняя бабка с центром токарного станка, 7 – винт продольной подачи, 8 – испытываемый образец, 9 – шток, 10 – корпус, 11 – пружина, 12 – регулировочный болт, 13 – микрометрическая головка, 14 – резцедержатель токарного станка, 15 – винт со штурвалом поперечной подачи, 16 – основание, 17 – фиксирующий винт.

Усилие пружины выбиралось исходя из ГОСТ 17367-71 «Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы». По ГОСТ 17367-71:

1) износ испытуемого и эталонного образцов должен быть получен при одинаковых условиях: образцы должны пройти один и тот же путь трения в пределах всей серии испытаний.
2) скорость трения образцов на абразиве должна быть такой, чтобы нагрев материала в процессе испытаний не влиял на его свойства.
3) испытания проводят под действием статической нагрузки 9,55 кгс/см^2 (из расчета 0,3 кгс на образец диаметром 2,0 мм).

Тарировка усилия пружины проводилась с помощью мерных весов. Установка фиксировалась в вертикальном положении, на шток устанавливались мерные веса массой 9 кг. Далее вращением болта 12 добивались показания микрометрической головки 2мм.

Затем приспособление закреплялось в резцедержателе 14 токарного станка, в отверстие штока устанавливался испытываемый образец 8. Винтом поперечной подачи токарного станка приспособление подавалось в сторону абразивного камня до его соприкосновения с образцом. Далее, по индикаторной головке, вращением штурвала 15 добивались необходимого натяга 2мм, что соответствует требуемому усилию прижима образца к абразивному кругу.

Образец устанавливался на край абразивного круга, включалась продольная подача и после этого включался двигатель станка. Т.е. начало вращения совпадало с началом перемещения образца по абразивному кругу. Обороты шпинделя при этом были равны 400 об/мин. При этом продольный путь образца составлял 4 длины абразивного камня, т.е. когда образец доходил до конца камня, включался реверс продольной подачи. Максимальный нагрев образца составил 74^{0}С.

Износостойкость поверхности определяли следующим образом: все испытуемые образцы взвешивались на электронных весах massa-k bk-1500 с точностью до 0,01гр. Далее образец закреплялся в державке устройства и поперечной подачей подавался к абразивному кругу. Момент касания фиксировали изменением стрелки индикатора. Дальнейшей поперечной подачей создавалось усилие прижима

образца, контроль усилия велся по индикатору. Затем включался привод вращения абразивного круга и продольная подача образца. После того как образец пройдет путь от одного торца абразивного камня до другого торца четыре раза, установка выключалась, образец извлекался и взвешивался. По изменению массы образца можно судить о его износостойкости. Результаты исследования на абразивную устойчивость образцов представлены в таблицах 27, 28.

Таблица 27

Исследование закаленных образцов из стали х12мф без покрытия на абразивную устойчивость

$T_{отп}$, ^0C	№ обр.	$м_{исх.}$,гр	$м_{конеч.}$,гр	Δм,гр	$Δм_{среднее}$, гр	%
220, без азота	1	16,88	16,56	0,32	0,31	100
	2	15,44	15,14	0,3		
	3	15,84	15,52	0,32		
220 с азотом	1	17,16	16,92	0,24	0,24	76,60
	2	17,42	17,14	0,28		
	3	18,08	17,86	0,22		
	4	18,48	18,24	0,24		
	5	16,86	16,64	0,22		
	6	18,1	17,86	0,24		
550 без азота	1	16,46	16,2	0,26	0,23	74,47
	2	16,46	16,24	0,22		
	3	16,46	16,24	0,22		
550 с азотом	1	17,24	17	0,24	0,27	87,23
	2	16,14	15,86	0,28		
	3	18,08	17,78	0,3		
	4	17,36	17,14	0,22		
	5	18,24	18	0,24		
	6	16,46	16,1	0,36		

Проанализировав полученные значения, можно сделать вывод, что наибольшей износостойкостью без наплавки обладают образцы с термообработкой, выполненной по третьему режиму: 1070^0C – масло, отпуск 550^0C – 1,5 ч. Данный режим термообработки незначительно лучше режимов 2, 4,5, разница составляет 2 и 13%. Разница с классическим режимом термообработки 1 выполненным без азота

составляет 26%, что можно объяснить наличием большого объема остаточного аустенита.

Таблица 28

Исследование образцов из стали х12мф с нанесенным износостойким покрытием на абразивную устойчивость

$T_{отп}$, ^0C	№ обр.	$м_{исх.}$,гр	$м_{конеч.}$,гр	Δм,гр	$Δм_{среднее}$,гр	%
	1	-	-			
	2	15,48	15,37	0,11		
220, без азота	3	16,28	16,18	0,1	0,105	100
	1	17,66	17,6	0,06		
	2	-	-	-		
	3	18,56	18,46	0,1		
	4	18,98	18,82	0,16		
	5	17,46	17,38	0,08		
220 с азотом	6	-	-	-	0,1	95,24
	1	16,96	16,92	0,04		
	2	16,86	16,82	0,04		
550 без азота	3	-	-	-	0,04	38,095
	1	17,68	17,64	0,04		
	2	16,6	16,54	0,06		
	3	18,48	18,46	0,02		
	4	-	-	-		
	5	-	-	-		
550 с азотом	6	16,84	16,76	0,08	0,05	47,62

Лучшими показателями износостойкости после наплавки обладают образцы, закаленные по третьему режиму, при чем разница между третьим и четвертым режимом не велика, а износостойкость образцов с термообработкой по первому и второму режимам в 2 раза меньше. Это можно объяснить разупрочнением основного металла под действием высоких температур, которые возникают в момент проплавления на лазерной установке. Режимы 3 и 4 менее подвержены структурным изменениям под действием температурного фактора.

Сравнив лучшие показатели износостойкости образцов без покрытия и с нанесенным износостойким покрытием, можно сделать вывод, что ролики с покрытием в 5,75 раза износостойкие чем ролики, выполненные без покрытия и в 7,75 раза износоустойчивее роликов, выполненных по режиму стандартной термообработки №1.

По полученным данным наилучшей износостойкостью обладают образцы с термообработкой № 3.

8.4. Выявление влияния масштабного фактора на процесс нанесения карбида вольфрама.

Образцы, в приведенном выше исследовании имели достаточно небольшой объем и вес. Рабочие ролики роликовой волоки имеют гораздо большую массу. Следовательно, при нанесении износостойкого покрытия на ролик, процессы теплоотвода из зоны нанесения поверхности могут иметь иной характер.

Для выявления данных зависимостей был изготовлен рабочий ролик роликовой волоки (рисунок 29) из стали х12мф.

Рисунок 29 . Рабочий ролик роликовой волоки

На данном ролике было проведено аналогичное исследование с оптимальными параметрами, выясненными в ходе предыдущего эксперимента, термообработки и нанесения карбида вольфрама.

Ролик, после нанесения карбида вольфрама был разделен на две половины, сделаны микрошлифы поверхности, замерены микротвердости по сечению. Результаты исследования представлены в таблице 29 и на рисунке 30.

Таблица 29

Замер микротвердости по сечению ролика

Режим термической обработки	Твердость, HV (HRC)			
	поверхность	ЗТВ	Зона перемешивания	Основной
3	967 (>67)	398 (41)	650 (58)	648 (57)

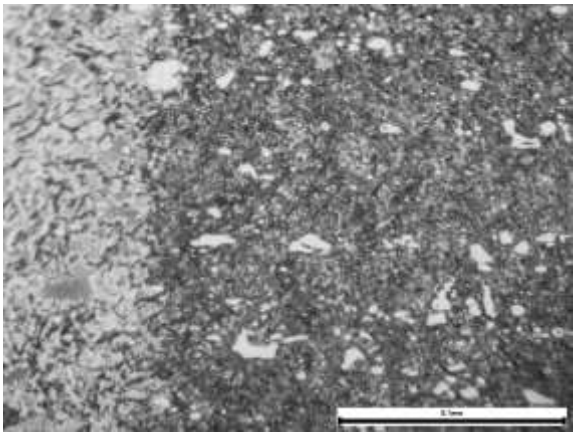


Рисунок 30. Микроструктура наплавленного поверхностного слоя ролика

По проведенному исследованию следует сделать вывод, что структуры и твердости ролика идентичны структурам и твердостям образцов, данная технология подходит для нанесения износостойкого покрытия на ролики роликовой волоки.

8.5. Выводы по главе

В результате проведенного эксперимента выявлено, что оптимальными параметрами термообработки являются 1070^0С – масло, отпуск 550^0С – 1,5 ч.

Данная технология нанесения износостойких покрытий может быть применена на промышленных предприятиях. Большим плюсом данной технологии является то, что нет необходимости изготавливать новые ролики специально, можно использовать уже имеющиеся ролики, увеличив их срок службы и тем самым увеличив эффективность производства, за счет сокращения времени простоя оборудования при перевалке, сокращения затрат на перешлифовку изношенных и изготовление новых роликов.

9. Охрана труда и техника безопасности

9.1 Общие требования безопасности к технологическому процессу

Предлагаемый технологический процесс волочения соответствует следующим требованиям:

- Федеральному закону «О промышленной безопасности производственных объектов» от 20.06.1997 г.;
- Общим правилам безопасности для металлургических и коксохимических предприятий и производств (утвержденным постановлением Госгортехнадзора России от 21.06.2002 № 35);
- Санитарным правилам организации технологических процессов и гигиеническим требованиям к производственному оборудованию. Сантехпроект, 1974;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений, и иных объектов»;
- Санитарным правилам для предприятий черной металлургии. Металлургия, 1982;
- ППБ-01-93 Правилам пожарной безопасности в Российской Федерации (введены в действие приказом МВД России от 14.12.93 № 536, внесены изменения и дополнения в 1995 и 1997 гг.);
- Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), 2001;
- ПБ Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Госгортехнадзора России, ПИО ОБТ, 2000;
- Указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров зданий промышленных предприятий СН181-70;
- СанПиН 3223-85 Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах (утв. Минздравом СССР, 1985 г.).

Оборудование должно быть разработано в соответствии с действующей системой безопасности труда (ССБТ) и следующими государственными стандартами:

- ГОСТ 12.1.001-89. "ССБТ. Основные положения";
- ГОСТ 12.1.003-83. “ССБТ. Шум. Общие требования безопасности";
- ГОСТ 12.1.005-88. "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования

к воздуху рабочей зоны";

- ГОСТ 12.2.003-91. "ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности";
- ГОСТ 12.2.009-94. "ССБТ. Оборудование прокатное. Общие требования безопасности";
- ГОСТ 12.2.049-80. "ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования";
- ГОСТ 12.2.061-81. "ССБТ. Общие требования безопасности к рабочим системам";
- ГОСТ 12.2.062-81. "ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные";
- ГОСТ 12.2.064-81. "ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности";
- ГОСТ 12.3.001-85. "ССБТ. Пневмоприводы. Общие требования безопасности к монтажу, испытаниям и эксплуатации";
- ГОСТ 12.3.002-75. "ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности";
- ГОСТ 17.0.0.01-76. "ССБТ. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения".

9.2. Характеристика опасных и вредных производственных факторов технологического процесса

Опасными производственными факторами технологического процесса производства проката являются:

1. Вращающиеся и перемещающиеся элементы машин и агрегатов.
2. Опасность от подъёмно-транспортных механизмов .
3. Опасность от поломки валков и элементов привода, аварийных ситуаций технологического процесса.
4. Опасность поражения электрическим током. Напряжение в электрической сети U=380/220 В, частота f=50Гц. Помещение, в котором расположен

стан по степени поражения электрическим током относится к особо опасному помещению с наличием токопроводящей пыли и токопроводящих полов.

Вредными производственными факторами технологического процесса производства проката являются:

1. Аэрозоли окиси металлов.
2. Повышенный уровень шума, источником которого является работа волочильного оборудования.
3. Вибрация от технологического оборудования.

Возможные аварийные ситуации технологического процесса на стане:

- поломка и разрушение вращающихся с большой скоростью деталей и узлов.

9.3. Безопасность веществ и материалов на стане

В качестве средств индивидуальной защиты от действия данных веществ применяют спецодежду: костюмы хлопчато-бумажные ГОСТ 27575-87, респираторы изолирующие «Лепесток» ГОСТ 12.4.028-76, мазь защитнаую ИЭР-2. Совместно с этим требуется строгое соблюдение мер личной гигиены, обязательное мытьё после рабочей смены, регулярная стирка спецодежды.

В качестве средств коллективной защиты от действия вредных веществ используют общеобменную вентиляцию приточно-вытяжного типа. Вентиляция применяется для снижения запыленности на рабочих местах для создания благоприятных климатических условий, предусмотренных СНиП 2.04.05-91.

9.4. Безопасность технологического процесса на волочильном стане

Согласно ГОСТ 12.3.002-75 принимаются следующие меры для обеспечения безопасности технологического процесса.

Используется оборудование, имеющее средства снижения травматизма. Технологический процесс максимально механизирован и автоматизирован.

Все металлические части конструкций заземляются.

Места операторов обеспечивают наилучшее наблюдение за технологическим процессом на волочильном стане.

Для предотвращения аварийных ситуаций предусмотрена система экстренной остановки стана. Для исключения аварийных ситуаций из-за неверных действий оператора используются электрические и механические блокировки. Для быстрого

отключения механизма главного привода в аварийной ситуации установлены аварийные выключатели. Согласно ПБ11-519-02 «Правила безопасности в волочильном производстве» размещение, эксплуатация и техническое обслуживание оборудования осуществляется в соответствие с требованиями правил безопасности, а именно: пульты, посты и панели управления оснащаются средствами связи и сигнализации согласно нормам технического проектирования. Система светозвуковой сигнализации обеспечивает оповещение эксплуатационного персонала о пуске, остановке и нарушениях установленного режима работы технических устройств.

К работе на стане допускаются лица, прошедшие обучение по специальности, устройству и безопасной эксплуатации стана, сдавшие экзамены квалификационной комиссии, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.004-90, имеющие удостоверения по выполняемой работе, получившие допуск к самостоятельной работе приказом по цеху.

Рабочему выдаются следующие средства защиты: костюм хлопчатобумажный ГОСТ 27545-87, обувь специальная ГОСТ 28507-90, каска защитная ГОСТ 12.4.128-83, подшлемник ГОСТ 28.039-89, беруши ГОСТ 12.4.051-87, очки защитные ГОСТ 12.4.013-85, рукавицы комбинированные ГОСТ 12.4.010-75, куртка ватная ГОСТ 29.935-92, валенки ОСТ 17-672-77, респиратор «Лепесток» ГОСТ 12.4.028-76.

Производственные помещения соответствуют требованиям действующих строительных норм и правил.

Производственные помещения оборудованы таким образом, чтобы обеспечивалась эвакуация людей при пожарах и авариях в соответствии со СНиП 2.01.02 – 85.

Уровни опасных и вредных производственных факторов в производственных помещениях и на рабочих местах не должны превышать величин, определяемых нормами, утвержденными в установленном порядке.

Устройство инженерных сетей производственных помещений по условиям их эксплуатации должно соответствовать требованиям безопасности.

9.5. Безопасность производственного оборудования

Согласно ГОСТ 12.2.003-75 материалы конструкции производственного оборудования стана не должны оказывать опасного и вредного воздействия на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не должны создавать пожаровзрывоопасных ситуаций.

Для обеспечения безопасности операторов и обслуживающего персонала при возможном разрушении деталей применены защитные экраны, предусмотрена система экстренного останова стана, звуковая и световая сигнализация.

Для предотвращения падения, опрокидывания, самопроизвольного смещения оборудования, оно установлено на самостоятельный фундамент, выверено и закреплено фундаментными болтами и гайками.

Для предотвращения падения или выбрасывания предметов, представляющих опасность для работающих, а также выбросов смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей установлены кожуха от масла, защитные экраны, электрические блокировки, срабатывающие при открытом ограждении.

На вращающихся механизмах (муфты, трансмиссионные валы) установлены защитные кожуха, окрашенные в желтый цвет по ГОСТ 12.2.094. Имеется звуковая сигнализация и электроблокировки на калитках с приводной стороны стана.

Для предотвращения травмирования рабочих поверхности постов управления не имеют острых кромок и заусенцев.

Для предотвращения случайного повреждения работающими или средствами технического обслуживания, части производственного оборудования, механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, и кабели защищены металлорукавами.

Для обеспечения пожаровзрывобезопасности в предусмотренных условиях эксплуатации установлена звуковая сигнализация и применяться углекислотное пожаротушение.

Для обеспечения электробезопасности имеется защитное заземление всего оборудования. Посты управления также заземлены, закрыты на замок, и имеют резиновые коврики.

Трубопроводы, шланги, провода, кабели и другие соединяющие детали, и сборочные единицы имеют маркировку, гидропанели - нумерацию.

Конструкция поста управления соответствует эргономическим требованиям. В наличии индивидуальные средства пожаротушения и общая система пожаротушения.

Для обеспечения выполнения рабочих операций в удобных рабочих позах конструкция поста управления соответствует эргономическим требованиям ГОСТ 12.2.032, ГОСТ 12.2.033.

9.6. Электробезопасность

В электрических схемах управления предусмотрена защита от перегрузок и коротких замыканий. Всё оборудование заземлено. Здание цеха имеет заземляющий контур, и все колонны цеха связаны с этим контуром металлической связью через полосу контура.

Внутрицеховая сеть выполнена из изолированных проводов в металлических трубках. Электропроводка, для питания током двигателей прокатных клетей закрыта в специальном кабельном канале. Рубильники и магнитные пускатели установок помещены в глухие металлические шкафы.

Размещение, устройство и эксплуатация электродвигателей, электрических сетей, пускорегулирующей, контрольно–измерительной и защитной аппаратуры, а также средств контроля, автоматизации, сигнализации и связи соответствуют требованиям правил устройства электроустановок, правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Для каждой установки составлены эксплуатационные схемы нормального и аварийного режимов работы. Все изменения, вносимые в схемы электрических соединений, а также изменение мест установки заземления отмечены в схеме с обязательным указанием кем, когда и по какой причине внесено, то или иное изменение.

Открытые части электроустройств, находящиеся под напряжением и доступные для прикосновения – ограждены согласно требованиям ПЭУ, ПТБ и ПТЭ электроустановок.

По опасности поражения электрическим током помещение стана относится к 3-му, особоопасному классу из-за наличия токопроводящей пыли, металлических полов и возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землей, металлоконструкциям зданий и с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой («Правила устройств электроустановок» ПУЭ-96).

9.7. Пожаровзрывобезопасность

По пожаробезопасности согласно СниП II-90-81 помещение стана относится к категории «В», так как работа ведётся с несгораемыми материалами (металл) в холодном состоянии.

Каркас здания и кровля выполнены из огнестойких и трудногорючих материалов с огнестойкостью I и II степени и с пределом огнестойкости 2,5 и 2 часа.

Согласно пожарной характеристике здания, для категории производств «В» при степени огнестойкости I-II наибольшая допустимая площадь этажа между противопожарными стенами здания, а также расстояние от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода не ограничивается.

Противопожарные меры предусмотрены согласно своду правил противопожарной безопасности СНиП 21 – 01 – 97.

Ширина проходов не менее 1 м; коридоров не менее 1,4 м; дверей 0,8-2,4 м; ширина тамбуров, эвакуационных выходов на 0,5 м больше ширины дверей, а глубина не менее 1,2 м; высота дверей и проходов на путях эвакуации не менее 2 м; двери открываются по направлению из здания.

Согласно Федеральному закону Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123 – ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" при строительстве и реконструкции производственного объекта разработана система обеспечения пожарной безопасности, включающую в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно – технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Для компенсации действия производственных вредностей предусмотрены:

- регламентируемый перерыв продолжительностью 85 минут в составе 2 раза по 20 минут, 3 раза по 15 минут.
- доплата за вредность;
- периодичность медицинских осмотров раз в два года.

Для обеспечения заданного уровня микроклимата на стане в зимнее время года воздух во всех помещениях цеха подогревается.

В соответствии с СНиП 04.05.91 въезд в цех оборудован воздушными завесами с блокирующими устройствами, включающие вентиляторы воздушной завесы при включении механизмов открывания ворот.

9.8. Освещение

В цехе предусмотрено естественное и искусственное освещение. Нормативное значение коэффициента освещения по СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования»:

- на рабочих местах стана 250 – 200 лк;
- в машинном зале – 150 лк;
- вспомогательные участки, проходы – 45 люкс;
- маслоподвал – 30 люкс;
- место работы оператора – 75 лк.

На стане предусмотрено 2 вида освещения рабочее и аварийное от независимых источников.

Напряжение сети освещения 380 В, лампы включаются на 220 В.

9.9. Шум и вибрация

Для рабочих мест за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону нормативный эквивалентный уровень звука по ГОСТ 12.1.003-85 равен 75 дБА.

Средства снижения шума:

1. Применение средств индивидуальной защиты: беруши – вкладыши (минимальное снижение уровня звука на $L_{бер}$ = 15 дБА), наушники–антифоны (минимальное снижение уровня звука на $L_{ант}$ = 30 дБА).

Заключение

В данной работе выполнен проект непрерывного волочильного стана с роликовыми волоками новой конструкции для производства титановой проволоки диаметром 0,9мм. Разработана конструкция роликовых волок со смещёнными парами роликов. Проведены энергосиловые расчеты параметров процесса волочения титановой проволоки, расчеты на прочность и долговечность деталей и узлов стана и роликовой волоки. Приведено описание конструкции и работы разработанного волочильного стана.

Разработана методика и приспособление для проведения экспериментального исследования износостойкости материала роликов. Выполнено экспериментальное исследование по повышению износостойкости рабочих роликов роликовой волоки с применением аддитивных технологий.

Библиографический список

1. http://www.skif-m.org/articles/3495-kassetnye-rolikovye-voloki-dlya-proizvodstva-provoloki.html

2. М.Б. Горловский, В.Н. Меркачёв Справочник волочильщика проволоки Москва: «Металлургия» 1993. – 336 с.

3. А.М.Когос Механическое оборудование волочильных и проволочных цехов. Москва: «Металлургиздат» 1967. – 338с.

4. Ю.В. Владимиров «Чермет информация,выпуск 2, Виитрэк-новый принцип волочения проволоки», Москва, 1981г. – 8с.

5. М.Б. Горловский, «Оборудование проволочных и канатных цехов» Москва: «Металлургия» 1963. – 355 с.

6. https://www.made-in-china.com/showroom/sgtcoldwelder/product-detailfowxzqcEsMUm/China-Wire-Pointing-Machine-SGT170-.html

7. https://erstvak.com/catalog/vakuumnaya-pech/dlya-termoobrabotki-metallov-i-splavov/vakuumnye_pechi_dlya_provedeniya_otzhiga/

8. Целиков, А.И. Теория прокатки. Справочник/ А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982. - 335 с

9. В.И. Гулько, «Производство профилей и проволоки в роликовых волоках», В.А. Войцеховский, А.К. Григорьев, Ижевск, Удмуртия, 1989г. – 130с.

10. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов: В 3 т.2-е изд., перераб и доп. – М.: Металлургия, 1988. –Т. 3 – 484с.

11. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. 5-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – Т. 2 – 550с.

12. В.К. Александров, «Полуфабрикаты из титановых сплавов», Н.Ф. Аношкин, А.П. Белозеров и др., Москва: ВИЛС, 1996 – 581с.