

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

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ /Радионова Л.В./

_____ 2020 г.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ
СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ДИАМЕТРОМ 1,0...2,5 ММ
ПО ГОСТ 7871-2019**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА**

ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 086 – 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-438

*Свистун Александра
Сергеевна*
_____ 2020 г

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Свистун А.С. Разработка технологии изготовления алюминиевой сварочной проволоки диаметром 1,0...2,5 мм по ГОСТ 7871-2019. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, МиМТ, 2020. – 80 с., 20 ил., библиографический список – 16 наим.

В данной выпускной квалификационной работе разработана технологическая схема изготовления алюминиевой сварочной проволоки диаметром 1,0-2,5 мм из катанки диаметром 5 мм.

В результате исследовательской работы были предложены различные маршруты волочения для производства проволоки диаметром от 2,5 до 1 мм, по требованию ГОСТ, а также больших диаметров для возможности расширения производства.

Рассмотрены основные требования, предъявляемые к сварочной алюминиевой проволоке по ГОСТ 7871-2019, которые включают в себя сортамент продукции, требования к сырью и материалом, общие требования, упаковка, маркировка, транспортировка, временная противокоррозионная защита. Произведен выбор марки сплава согласно требованию ГОСТ и изучена общая технология производства сварочной алюминиевой проволоки.

Выбрана ресурсосберегающая технология изготовления проволоки на основе математического моделирования на основе четырех маршрутов волочения.

Разработаны рекомендации по выбору современного автоматизированного технологического оборудования для изготовления проволоки. Выбрано основное и вспомогательное оборудование.

Проведена оценка экономической эффективности предлагаемой технологии, в которой рассмотрено влияние степени деформации, угла волокна, коэффициента трения и скорости волочения на энергетические параметры и производительность процесса.

Рассмотрены основы необходимые для оформления бизнес проекта для малого предприятия. Они включают в себя выбор необходимого количества оборудования, его расположение, определение рентабельности производства на основе данной технологии, расчет фонда заработной платы работников, определение капитальных затрат. Произведена финансовая оценка по окупаемости малого предприятия и предложены современные технологии открытия бизнеса.

В результате проведенной работы следует, что открытие малого предприятия по предложенной технологии не только возможно, но и рентабельно, с дальнейшей возможностью расширения предприятия по сортаменту выпускаемой продукции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АЛЮМИНИЕВОЙ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКЕ.....	10
1.1. Область применения сварочной алюминиевой проволоки	10
1.2. Технические требования ГОСТ 7871-2019 «Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов»	10
1.2.1. Сортамент	10
1.2.2. Требования к сырью и материалам	12
1.2.3. Общие требования к проволоке.....	12
1.2.4. Упаковка	13
1.2.6. Временная противокоррозионная защита	14
1.3. Выбор марки сплава.....	14
1.3.1. Сварочная алюминиевая проволока СвА5(ER1100)	15
1.3.2. Сварочная проволока СвАМц (ER3003).....	16
1.4. Общая технология производства алюминиевой сварочной проволоки.....	16
2. ВЫБОР РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ДИАМЕТРОМ 1,0 – 2,5 ММ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	23
2.1. Расчет маршрута волочения для получения сварочной алюминиевой проволоки диаметром 2,24 мм.....	27
2.2. Расчет маршрутов волочения для получения сварочной алюминиевой проволоки диаметром 2; 1,4; 1 мм.....	33

3.РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ	38
3.1. Выбор волочильного оборудования для производства проволоки ..	38
3.2. Выбор вспомогательного оборудования	44
4.ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....	49
4.1. Влияние степени деформации	49
4.2. Влияние угла волокна.....	54
4.3. Влияние коэффициента трения.....	56
4.4. Влияние скорости волочения.....	60
5. ОФОРМЛЕНИЕ БИЗНЕС ПРОЕКТА ДЛЯ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ...	65
5.1. Выбор количества оборудования и его расположение	65
5.2. Определение рентабельности производства	71
5.3. Расчет фонда заработной платы	73
5.4. Определение капитальных затрат	78
5.5. Финансовая оценка	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	86

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из актуальных вопросов в области металлургии, машиностроения и другой промышленности, является повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции. Реализовать эту проблему возможно повышением качества продукции и снижением ее себестоимости. Свойства и химический состав проволоки являются основным показателем качества алюминиевой сварочной проволоки. Формирование физико-механических свойств проволоки происходит на всем этапе ее изготовления начиная с выплавки стали и заканчивая термической обработкой готовой проволоки. Процесс пластической деформации также является неотъемлемой частью формирования требуемого уровня свойств проволоки.

Для того чтобы получить проволоку с высокими свойствами и качеством применяют волочение. Волочением получают проволоку с минимальным диаметром 0,002 мм. Изделия, полученные волочением, обладают высоким качеством поверхности и высокой точностью размеров поперечного сечения.

В настоящее время алюминиевые сплавы получили широкое применение благодаря ценному для техники комплексу механических, физических, коррозионных свойств, высокой технологичности, а также благодаря значительным природным запасам алюминия.

Одной из самых важных сфер применения алюминиевой проволоки является сварка. Сварка при помощи алюминиевой проволоки способна обеспечить соединениям ряд важных качеств: прочность, стойкость, пластичность, защиту от горячих трещин и устойчивость к коррозионному разрушению. Для сварки деталей, выполненных из алюминия и сплавов на его основе, используется алюминиевая проволока, с помощью которой также выполняется наплавка заготовок из данного металла.

Алюминий, как известно, является одним из самых сложных металлов в плане выполнения сварочных работ. Поэтому, рассмотрение вопроса формирования свойств в процессе холодной деформации именно этой проволоки

представляет наибольший интерес. Технологический процесс изготовления алюминиевой сварочной проволоки включает в себя операции подготовки поверхности к деформации, холодную пластическую деформацию, специальные и отделочные операции.

Улучшению процесса волочения уделяют большое внимание во многих институтах и промышленных предприятиях как у нас в стране, так и за рубежом. При этом основное внимание направлено на повышение качества катанки, снижение контактного трения, повышение качества инструмента, создание нового мощного волочильного оборудования.

Получить требуемый комплекс свойств готовой проволоки с наименьшими затратами является основной целью производства. Для этого нужно решить следующие задачи: изучить рынок и современные технологии производства; изучить закономерности изменений физико-механических свойств в процессе волочения; выбрать наиболее подходящую заготовку; рассчитать наилучшие маршруты волочения; выбрать необходимое оборудование.

Наилучшим способом достижения поставленных целей является математическое моделирование технологии, в основу которого заложены современные знания по вопросу формирования физико-механических свойств проволоки и энергосиловых параметров процесса. Этот метод ускоряет расчет ресурсосберегающей технологии изготовления проволоки.

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АЛЮМИНИЕВОЙ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКЕ

1.1. Область применения сварочной алюминиевой проволоки

Есть несколько процессов, которые используются для сварки алюминия, с использованием сварочной алюминиевой проволоки. Наиболее популярны такие процессы, как аргонодуговая (TIG) сварка и импульсная полуавтоматическая (MIG) сварка.

Сварочная алюминиевая проволока применяется, для сварки деталей, выполненных из алюминия и сплавов на его основе, с помощью которой также выполняется наплавка заготовок из данного металла. Все работы с использованием такой проволоки осуществляются в среде защитного газа, в качестве которого чаще всего применяется аргон.

Если алюминиевая сварочная проволока подобрана правильно, то она способна обеспечить высокое качество и надежность формируемого сварного шва, стабильность его механических характеристик.

Поэтому основным требованием, предъявляемым к сварочной проволоке, является соответствие состава проволоки составу металла, из которого изготовлены свариваемые детали и конструкции. Температура плавления сварочной проволоки должна практически равняться температуре свариваемого металла, сам процесс плавления должен происходить равномерно, а проволока должна быть чистой и не окисленной.

Основные требования, предъявляемые к сварочной алюминиевой проволоке представлены в ГОСТ 7871-2019.

1.2. Технические требования ГОСТ 7871-2019 «Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов»

1.2.1. Сортамент

Размеры проволоки и предельные отклонения по ним должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1. Предельные отклонения от диаметра

Диаметр проволоки	Предельные отклонения по диаметру	
	тянутой проволоки	прессованной про- волоки
1,00	-0,060	-0,030
1,12	-0,060	-0,030
1,25	-0,060	-0,030
1,40	-0,060	-0,030
1,60	-0,060	-0,030
1,80	-0,080	-0,040
2,00	-0,080	-0,040
2,24	-0,080	-0,040
2,50	-0,080	-0,040

Примечание — Типовые диаметры сварочной проволоки: 0.80; 1.00; 1.20; 1.40; 1.60;1.80; 2,00; 2.24; 2.50; 2.80; 3.00; 3.15; 3.50; 4.00; 4.50; 5.00; 5.60; 6.00; 6.30; 7.10; 8.00;9.00 мм.

По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготовление проволоки с промежуточными размерами, при этом предельные отклонения принимаются, как для ближайшего меньшего размера.

Проволоку должны изготавливать в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке, из алюминия и алюминиевых сплавов, химический состав которых указан в ГОСТ 7871-2019, следующих марок СвА99, СвА97, СвА85Т, СвА5, СвАМЦ, СвАМГ3, СвАМГ5, Св1557, Св1557, СвАМГ6, СвАМГ61, Св1577пч, СвАМГ63, СвАК5, СвАК10, Св1201, Св1570, Св1571, Св1575, Св1587, Св1597.

Содержание элементов в таблицах ГОСТ 7871-2019 по химическому составу сплава, указаны их максимально допустимые пределы.

1.2.2. Требования к сырью и материалам

Сырьем для производства проволоки по настоящему стандарту может являться литая заготовка, катанка, изготовленная способом непрерывного литья и прокатки или совмещенным способом непрерывного литья и прокатки-прессования, а также прутки, полученные методом прессования.

Основой для изготовления проволоки является алюминиевая катанка, которую получают тремя способами:

1) Прокаткой, если в качестве исходного сырья имеются алюминиевые слитки. Для этого используют проволочно-прокатный стан.

2) Методом непрерывного литья и проката, если сырье представлено в виде расплавленного алюминия. Это передовой способ, который предполагает загрузку жидкой массы в кристаллизатор. Во время движения металл кристаллизуется и передается на прокатные валки.

3) Методом прессования. Слиток помещают в специальный контейнер с матрицей. На ней есть отверстие, соответствующее форме сечения изделия. Обработка давлением происходит за счет пуансона со сменной прессшайбой, которая плотно заходит в пространство контейнера.

1.2.3. Общие требования к проволоке

– Обработку поверхности проводят механическим, химическим, электрическим способами или их комбинацией. Абразивная обработка не допускается.

– Проволока должна иметь поверхность без дефектов в виде плен, трещин, закатов, вмятин, заусенцев и расслоений.

– После обработки проволока должна иметь светлую блестящую поверхность с параметрами шероховатости Ra не более 0,63 мкм по ГОСТ 2789.

– Проволока, кроме поставляемой в виде прутков, должна состоять из одного отрезка. Допускается стыковая сварка проволоки одной плавки.

– Проволоку изготавливают в нагартованном состоянии. По согласованию изготовителя с потребителем возможна поставка проволоки в отожжен-

ном состоянии. Проволоку в отожженном состоянии поставляют без обработки поверхности.

– Проволока всех марок сплавов диаметром 4.00 мм и менее в нагартованном состоянии должна иметь временное сопротивление разрыву не менее 100 МПа.

1.2.4. Упаковка

Одной из особенностей работы с алюминием является то, что пленка, которой покрыт алюминий, под воздействием кислорода окисляется, и чем дольше сплав подвергается окислению на воздухе, тем больше становится глубина оксидного слоя. Поэтому необходимо учитывать правильную упаковку сварочной алюминиевой проволоки.

Упаковка проволоки (прутков) должна обеспечивать защиту от коррозии и механических повреждений при транспортировании и хранении.

Проволоку, намотанную на катушки (пачки прутков), помещают в пакеты из полимерного или комбинированного материала по ГОСТ 12302. вместе с пакетом порошка обезвоженного силикагеля минимальной массой 10 г по ГОСТ 3956 и герметизируют при относительной влажности окружающего воздуха менее 20 %. Проволока, упакованная в бочку, подлежит герметизации при тех же условиях.

Загерметизированные пакеты упаковывают в картонные, пластмассовые коробки или деревянные ящики. Допускается групповая упаковка загерметизированной продукции.

Бухты (между внутренним и наружным диаметрами) должны быть прочно связаны не менее чем в трех равномерно удаленных друг от друга местах отожженной алюминиевой проволокой, шпагатом по ГОСТ 17308 или иными прочными неметаллическими материалами.

Бухты упаковывают в полимерную пленку по действующему нормативному документу. Суммарная толщина защитной пленки должна быть не менее 0.12 мм.

1.2.5. Маркировка и транспортирование

Каждая катушка должна быть снабжена ярлыком, содержащим следующие данные: а) товарный знак или наименование предприятия-изготовителя и товарный знак; б) условное обозначение проволоки; в) номер партии; г) массу проволоки; д) дату химической обработки и герметизации.

Транспортная маркировка - по ГОСТ 14192-77 с нанесением манипуляционного знака "Боится сырости". На грузовые места с проволокой в герметичной упаковке наносится манипуляционный знак "Герметичная упаковка".

1.2.6. Временная противокоррозионная защита

Необходимым условием при долгом хранении (от 15 суток) служит противокоррозионная защита.

При отправке всех видов полуфабрикатов в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы они подлежат временной противокоррозионной защите. Средства временной противокоррозионной защиты готовой продукции при длительном хранении являются: масло консервационное марки К-17 по ГОСТ 10877 или НГ-203; Бумага противокоррозионная марок МБГИ-3-40 или МБГИ-8-40 по ГОСТ 16295.

1.3. Выбор марки сплава

Существуют виды проволоки, которые считаются универсальными и придают соединению удовлетворительные характеристики. Кроме этого, некоторые виды алюминиевой проволоки могут обеспечивать повышенные требования следующим показателям: коррозионная стойкость при работе в самых агрессивных средах; высокая устойчивость к трещинообразованию; повышенная прочность сформированного шва; высокие пластические свойства соединения.

Основные марки универсальных сплавов применяем для получения сварочной алюминиевой проволоки представлены в ГОСТ 7871-2019: СвА99,

СВА97, СВА85Т, СВА5, СВАМЦ, СВАМГ3, СВАМГ5, Св1557, СВАМГ6, СВАМГ63, СВАМГ61, СВАк5.

Для производства сварочной алюминиевой проволоки выбираем два вида сплава: 1100 (СВА5) и 3003 (СВАМЦ).

1.3.1. Сварочная алюминиевая проволока СВА5(ER1100)

Сварочная проволока СВА5(1100) стойкая к химическому воздействию и влиянию атмосферы. Ее используют для сварки изделий из алюминия и алюминиевого сплава АМЦ, с содержанием легирующих элементов до 0,5%. Сварное соединение с применением проволоки СВА5 отвечает высоким требованиям по стойкости к коррозии при контакте с химически агрессивными средами. Проволока обладает хорошими сварочными характеристиками: наплавленный металл не склонен к коррозионному растрескиванию под напряжением при температурах эксплуатации выше 65°C, обладает достаточно высокими пластическими свойствами, позволяющими выполнять прокатку и формовку, а также выполнять анодирование изделий после сварки. Предел прочности сварного шва прутка из сплава 1100 в состояниях отожженном и нагартованном состоянии при температуре -196 °C составляет около 190 МПа. Химический состав проволоки представлен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав проволоки ER1100 или СВА5

Марка сплава	Химический состав								
	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Si+Fe, %	Zn, %	Al, %	Другие, каждой, %	Другие, сумма, %
СВА5	0.10-0.25	0.20-0.35	0.015	-	-	-	остальное	0.05	0.5

1.3.2. Сварочная проволока СВАМц (ER3003)

Алюминиевый сплав СВАМц применяют для изготовления паяных теплообменников и другого оборудования. Легко соединяется пайкой или сваркой. Предел прочности сплава СВАМц в состояниях отожженном и нагартованном при комнатной температуре составляет 110 и 200 МПа, а при температуре $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 230 и 280 МПа. Легкость обработки, высокая пластичность и вязкость, как при комнатной температуре, так и при отрицательных температурах, являются самыми важными свойствами этого сплава. Алюминиевый сплав СВАМц применяется там, где требуется хорошая формуемость, очень хорошее сопротивление коррозии или хорошая свариваемость или все три свойства вместе. Химический состав проволоки представлен в таблице 3.

Таблица 3. Химический состав проволоки ER3003, СВАМц.

Марка сплава	Химический состав								
	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Si+Fe, %	Zn, %	Al, %	Другие, каждой, %	Другие, сумма, %
СВАМц	0.2-0.4	0.3-0.5	до 0.2	1-1.5	-	до 0.1	остальное	0.1	1.35

1.4. Общая технология производства алюминиевой сварочной проволоки

Проволока – это сплошное тонкое металлическое изделие неограниченной длины с постоянной по длине формой поперечного сечения, однородными механическими и физическими свойствами.

Проволоку получают волочением в монолитной волоке по определённому маршруту волочения, для достижения необходимых размеров и свойств.

Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, характеризующийся постепенным однократным или многократным протягива-

нием заготовки через специальный волочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки.

Процесс волочения, как всякий процесс холодной пластической деформации, сопровождается изменением физических и механических свойств протягиваемого металла. Так при холодном волочении увеличивается предел прочности, сопротивление деформации и уменьшаются показатели пластичности.

Однако характер изменения показателей состояния металла при волочении не всегда одинаков и зависит от условий процесса, так как эти условия определяют степень упрочнения, неравномерность деформации и величину остаточных напряжений, которые определяют в основном средние значения показателей механических свойств. К таким условиям относятся: величины единичных и суммарных степеней деформации.

Существует предельное обжатие, при котором коэффициент запаса меньше рекомендованного значения, и происходит обрыв проволоки. Величина максимально допустимого единичного обжатия зависит от пластичности металла, структуры, предшествующего наклепа, остаточных напряжений и условий деформации (конструкции канала волокна, условий смазки, температуры и прочего) Для алюминиевой проволоки максимальное единичное обжатие может достигать от 20 до 25%.

Для большинства видов проволоки и катанки оптимальной величиной суммарного обжатия при волочении с точки зрения характеристик выносливости является обжатие 75-80%.

Заготовкой для производства сварочной алюминиевой проволоки является катанка, изготовленная способом непрерывного литья и прокатки или совмещенным способом непрерывного литья и прокатки-прессования. Исходным материалом для производства алюминиевой проволоки является катанка диаметром от 5 до 14 мм в бунтах. Поэтому заготовку для волочения проволоки необходимо выбирать с учетом суммарной степени деформации.

Технологический процесс волочения состоит из ряда операций:

- предварительный отжиг заготовок для снятия наклепа и получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности;
- травление заготовок в водном растворе, содержащем 8—12% серной кислоты для удаления оксидной пленки с последующей промывкой или механическая очистка;
- острение прутков;
- нанесение смазочного слоя;
- волочение, заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий;
- отжиг (если это необходимо) для устранения наклепа: проводится для получения меньших диаметров, когда процесс волочения происходит в несколько этапов (5→2,5→отжиг →2,5→1);
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.).

В качестве термической обработки применяют рекристаллизационный отжиг в камерных, колпаковых печах или в проходных печах с движущимся подом. У большинства алюминиевых сплавов при степени деформации 50 — 70% температура начала рекристаллизации находится в пределах 280—300°С. А температура рекристаллизационного отжига в зависимости от состава сплава колеблется от 300 до 500°С с выдержкой 0,5 — 3,0 ч.

Перед волочением передний конец прутка заостряют, чтобы заправить в волоку тянущим устройством. Это достигается с использованием ковочных вальцов. Обжатие переднего конца прутка осуществляется в ручном режиме путем многократной прокатки с кантовками переднего конца.

Основным способом изготовления проволоки в настоящее время является волочение в монолитных волоках. Этот способ отличается относительной простотой и хорошо изучен теоретически. Для его осуществления имеется необходимое оборудование и хорошо освоено производство необходимого инструмента. Изделия, получаемые волочением, отличаются большой точностью геометрических форм и высоким качеством поверхности.

Чтобы снизить трение при волочении применяют подготовку поверхности заготовки, которая заключается в очистке поверхности от оксидной пленки, т.к. при длительном хранении на металле образуется слой окислов, который рекомендуется стравливать. В этом случае производят травление в водном растворе, содержащем 8—12% H_2SO_4 и промывают заготовку сначала в теплой воде, затем в холодной, либо применяют механическую подготовку поверхности.

Также трение металла о стенки волочильного канала инструмента затрудняет процесс волочения, поэтому силы контактного трения необходимо уменьшать. Это достигается за счет применения смазочных материалов. Воронкообразная форма волочильного канала (фильеры) и высокие контактные напряжения способствуют интенсивному выдавливанию смазки в направлении, обратном волочению, поэтому смазка должна обладать повышенной адгезией (сцепление поверхностей разнородных тел) с протягиваемым металлом и вязкостью. Наиболее близкой к этим свойствам является смазка, содержащая 70- 95% индустриального масла и загуститель - полиизобутилен П-20. Смазку загружают в фильерную коробку перед фильеродержателем, заготовка перед волочением проходит через некоторый объем смазки. Смазочный слой наносится путем протягивания заготовки через смазочную массу, затем металл подается в волоку. В деформационную зону смазка вовлекается с протягиваемым металлом. При волочении алюминиевых сплавов не требуется наносить подсмазочный слой для схватывания металла со смазочным материалом, так как при предварительной обработке алюминиевых сплавов, некоторое количество оксидной пленки остается и при деформации она разрушается, образуя подсмазочный слой, который способствует улучшению схватываемости между металлом и смазкой.

Необходимо учитывать, что в процессе пластической деформации при волочении происходит наклеп, который приводит к увеличению прочности, твердости и снижению пластичности, при дальнейшем деформировании металла пластические характеристики сильно уменьшаются, что приводит к об-

разованию микротрещин, которые растут и с последующим деформированием приводят к обрывам проволоки. Поэтому между проходами по мере накопления деформации полуфабрикаты подвергают промежуточным отжигам, которые схожи с предварительным отжигом перед волочением. Для того чтобы получить проволоку в несколько этапов, то есть из заготовки диаметром 5 мм получить проволоку диаметром 1 мм, для начала необходимо произвести деформирование с 5 мм до 2,5 мм затем необходимо снять наклеп с помощью дополнительных операций (провести рекристаллизационный отжиг). В результате чего, уменьшится число дефектов структуры, произойдет формирование недеформированной структуры металла (зерна приобретают мелкую округлую форму), при этом снизится прочность и твердость, увеличится пластичность. После этого можно продолжить деформирование металла с 2,5 мм до 1 мм, данный процесс необходим для предотвращения дефектов и увеличения выхода годного материала.

После завершения процесса волочения происходит отделка готовой продукции: отрезка заостренных концов, разрезка в размер. Схема получения проволоки показана на рисунке 1.



Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема изготовления сварочной алюминиевой проволоки

Технологический процесс волочения осуществляется на специальных волочильных станах. Все известные в настоящее время волочильные станы можно классифицировать следующим образом: по конструкции, по принципу работы, по кратности, по диаметру протягиваемой проволоки, по кинематическому принципу (рисунок 2). Кроме того, на практике, как в России, так и за рубежом, принято делить волочильные станы на станы сухого и “мокрого” волочения.



Рисунок 2. Классификация волочильных станов

Производства проволоки волочением не требует длительного обучения обслуживающего персонала, что является одним из преимуществ данного вида оборудования. Целесообразно оснащать линию системой автоматического управления на основе цифровых технологий, которые помогут следить за процессом волочения. Наличие такой технологии позволит существенно увеличить КПД предприятия, сделать операции абсолютно выверенными, а также свести к минимуму брак продукции и отходы материала.

Целью данной работы является разработка технологии получения сварочной алюминиевой проволоки диаметром от 2,5 до 1 мм, с возможностью использования данной технологии для открытия малого предприятия.

Основные задачи работы:

- разработать ресурсосберегающую технологию изготовления проволоки диаметром 1,0 – 2,5 мм;
- дать рекомендации по выбору современного автоматизированного технологического оборудования для изготовления проволоки;
- оценить экономическую эффективность предлагаемой технологии;
- оформить бизнес проект для малого предприятия.

2. ВЫБОР РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ДИАМЕТРОМ 1,0 – 2,5 ММ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Схема волочения характеризуется процессом протягивания через волоку прутка круглой формы поперечного сечения. Исходный и конечный диаметры соответственно равны d_0 и d_1 . Волочение осуществляется в холодном состоянии.

Главной характеристикой деформации металла при волочении служит показатель вытяжки:

$$\mu = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1} \quad (1)$$

где l_1 – длина после волочения;

l_0 – длина до волочения;

F_1 и F_0 – площадь поперечного сечения после и до волочения соответственно.

При волочении сплошного круглого прутка диаметром d_1 из круглой заготовки диаметром d_0 :

$$\mu = \frac{d_0^2}{d_1^2} \quad (2)$$

Для характеристики деформации применяется такой показатель, как относительное обжатие ε :

$$\varepsilon = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} \quad (3)$$

Единичное обжатие ε влияет на параметры волочения: силу волочения, неравномерность деформации по направлению от поверхности к центральным слоям прутка, величину остаточных напряжений в металле после волочения.

Обычно после волочения из-за неравномерности деформации поверхностных и центральных слоев на поверхности проволоки возникают растяги-

вающие остаточные напряжения, а в центральных слоях они сжимающие. Поверхностные растягивающие напряжения очень опасны, так как снижают пластичность металла и могут быть причиной появления поверхностных трещин. Величина максимально допустимого единичного обжатия зависит от пластичности металла, структуры, предшествующего наклепа, остаточных напряжений и условий деформации (конструкции канала волокна, условий смазки, температуры и пр.) Для алюминиевой проволоки максимальное единичное обжатие может достигать 20...25%.

Для волочения выбирается оптимальное единичное обжатие $\epsilon_{\text{опт}}$, при котором обеспечивается высокое сочетание основных показателей процесса: высокая производительность, минимальная обрывность, требуемые механические свойства, высокое качество поверхности проволоки и другие.

В качестве величины, характеризующей однородность деформации по сечению, автор работы [6] вводит понятие параметр формы зоны деформации Δ . Для волочения круглого профиля:

$$\Delta = l/L, \quad (4)$$

где l – длина дуги, перпендикулярной контактной линии инструмента посередине зоны деформации; L – длина контактной линии инструмента (рисунок 3).

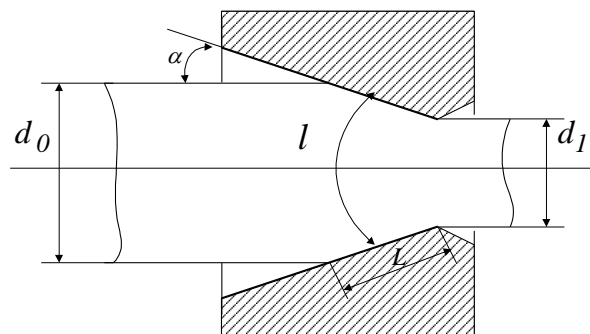


Рисунок 3. Зона деформации при волочении проволоки

Величина Δ вычисляется по формуле:

$$\Delta = \frac{\alpha}{r} (1 + \sqrt{1-r})^2, \quad (5)$$

где α - полуугол волокна, рад,

$r = 1 - (d_1/d_0)^2$ - степень деформации.

Зависимость параметра формы зоны деформации Δ для различных углов от степени деформации приведена на рисунке 4 [7].

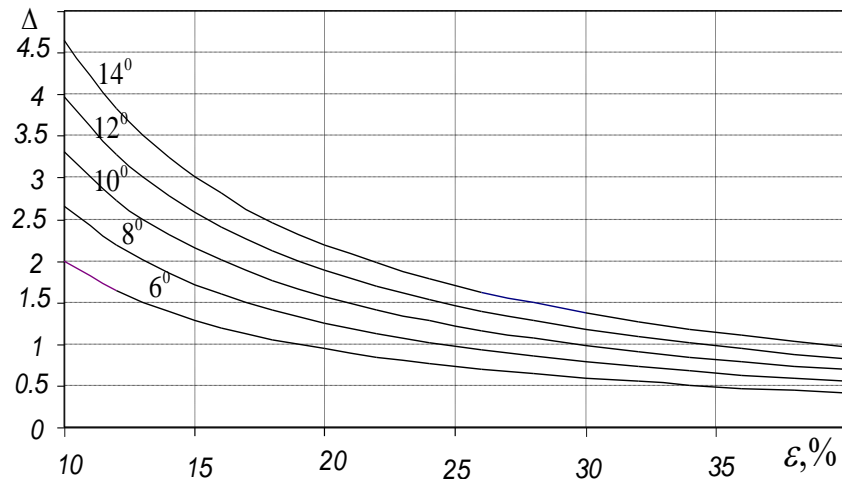


Рисунок 4. Зависимость параметра формы от степени деформации для разных углов волок

Изучением распределения микротвердости в деформируемом объеме упрочняющегося материала, которая характеризует накопленную деформацию в окрестности точки измерения, и может быть однозначно выражена через интенсивность деформации, автор работы [6] пришел к выводу, что при параметре $\Delta=1$ деформацию можно считать более или менее равномерной. Следовательно, чтобы получить однородную деформацию по сечению проволоки параметр формы Δ должен быть равен 1. Для уменьшения Δ можно либо уменьшать α , увеличивая при этом длину L , либо увеличивать r , уменьшая среднюю толщину.

В практике волочения проволоки при расчете маршрутов волочения принято определять величину единичного обжатия при заданном угле воло-

ки, поэтому целесообразно для расчета степени деформации в зависимости от угла волокна использовать соотношение [5]:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \right)^2, \quad (6)$$

где α - полуугол волокна, рад;

ε - степень деформации.

Однако в этом соотношении не учитывается значение коэффициента трения, а оно, как было сказано выше, оказывает влияние на неравномерность деформации по сечению проволоки.

Учесть влияние коэффициента трения можно по выражению [9]:

$$\varphi = \arctg(\operatorname{tg}\alpha + f) = \bar{\gamma}, \quad (7)$$

где φ - угол

f - коэффициент трения.

Тогда для расчета маршрутов волочения, обеспечивающих получение проволоки с заданным распределением остаточных напряжений, необходимо рассчитать единичные обжатия последующим соотношению [10] (8), задаваясь необходимыми значениями рабочего угла волокна и выбирая соответствующее значение коэффициента трения. После определения необходимого минимального значения единичного обжатия, рассчитывается суммарная деформация, кратность волочения, выбирается тип маршрута волочения, для чего тоже используются соотношение (8). Затем делаются остальные расчеты.

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{1 - \arctg(\operatorname{tg}\alpha + f)}{1 + \arctg(\operatorname{tg}\alpha + f)} \right)^2, \quad (8)$$

Для получения сжимающих напряжений в поверхностном слое ($\Delta < 1$) обжатия следует выбирать из условия

$$\varepsilon \geq 1 - \left(\frac{1 - \arctg(\operatorname{tg}\alpha + f)}{1 + \arctg(\operatorname{tg}\alpha + f)} \right)^2, \quad (9)$$

Для получения растягивающих напряжений в поверхностном слое ($\Delta > 1$) обжатия следует выбирать из условия

$$\varepsilon \leq 1 - \left(\frac{1 - \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\alpha + f)}{1 + \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\alpha + f)} \right)^2, \quad (10)$$

Так как максимальное единичное обжатие алюминиевых сплавов лежит в интервале от 20 до 25%, то по рисунку 2 мы можем определить необходимый угол волокна, чтобы Δ стремился к единице. Таким образом, угол волокна должен составлять 6° или 8° в зависимости, от степени деформации. Примем угол волокна 6° .

При волочении обычно суммарные обжатия $\Sigma \varepsilon$ не превышает 70–85 %. Значение $\Sigma \varepsilon$ зависит от многих факторов, в том числе от величины единичных обжатий: чем меньше единичные обжатия за один проход ε , тем больше суммарное обжатие $\Sigma \varepsilon$.

Все расчеты проводим для получения алюминиевой сварочной проволоки для сплава 1100 (СВА5).

Выберем заготовку исходя из того, что суммарная степень деформации при волочении должна составлять примерно от 70 до 85%.

Сортаментом выпускаемой продукции является проволока диаметром от 1 до 2,5 мм. Таким образом, нам необходимо выбрать заготовку, из которой можно будет получить различные комбинации необходимой нам продукции.

Разработаем технологический процесс получения проволоки диаметром 1; 1,4; 2; 2,24 мм.

2.1. Расчет маршрута волочения для получения сварочной алюминиевой проволоки диаметром 2,24 мм

Выберем заготовку начальным диаметром 5 мм.

Для определения напряжения волочения наиболее приемлемой является формула Кёрбера и Ёйхингера [11]:

$$\sigma_{\text{вол}} = \sigma_T \cdot \left[(1 + \delta) \cdot \ln \mu + 0,77 \cdot \operatorname{tg}\alpha \right], \quad (11)$$

где σ_T – средний предел текучести металла в очаге деформации, МПа;

α – полуугол волочения, 3° ;

δ – средний коэффициент, учитывающий условия трения в очаге деформации;

$$\delta = \frac{f}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (12)$$

Так как, при деформировании увеличиваются прочностные характеристики и понижаются пластичность и вязкость. Металлы интенсивно наклепываются в начальной стадии деформирования.

При волочении после каждого прохода металл претерпевает наклеп, в результате чего временное сопротивление разрыву (предел прочности) σ_B и предел текучести σ_T изменяются.

Зависимость изменения предела прочности и предела текучести от степени деформации для некоторых сплавов представлены на рисунке 5.

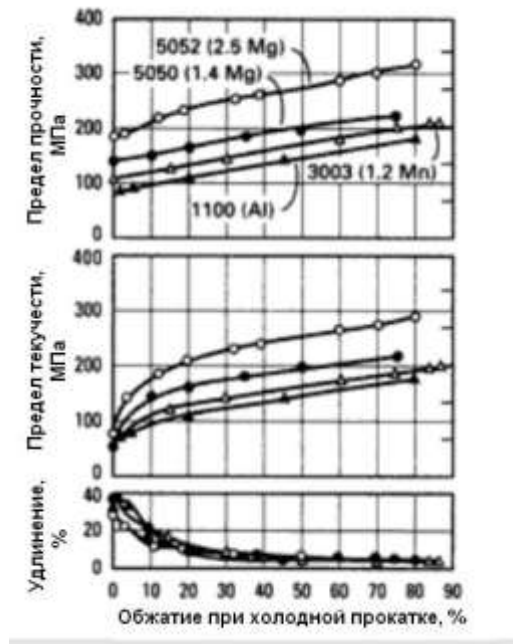


Рисунок 5. Изменения предела, предела прочности и удлинения в зависимости от степени деформации

Для определения предела текучести и предела прочности перенесем графики для сплавов ER1100 и ER3003 в Excel. И при помощи аппроксима-

ции получим уравнения зависимости предела текучести и предела прочности от степени деформации.

Для сплава ER1100 зависимость предела прочности от степени деформации представлена на рисунке 6, а зависимость предела текучести от степени деформации представлена на рисунке 7.

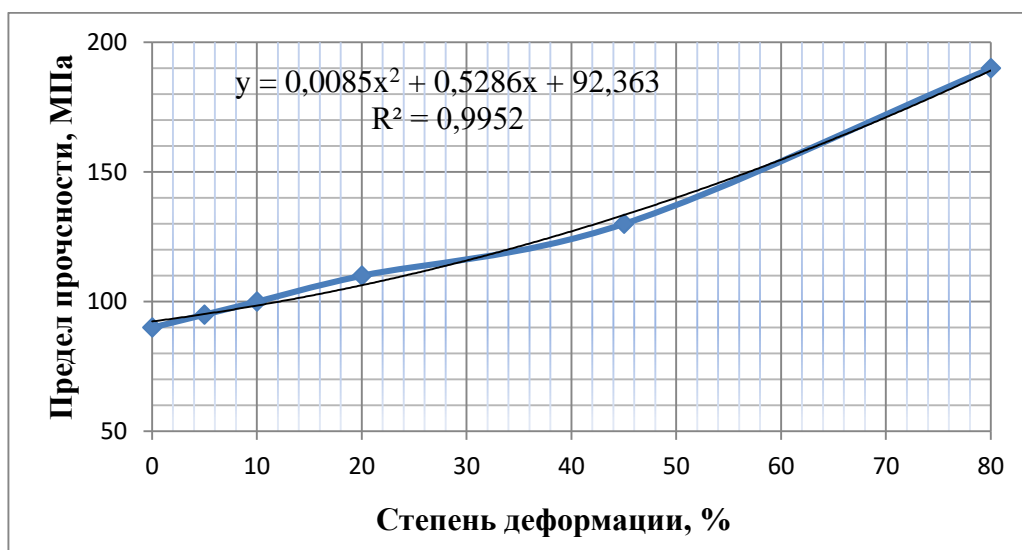


Рисунок 6. Зависимость предела прочности от степени деформации для сплава ER1100

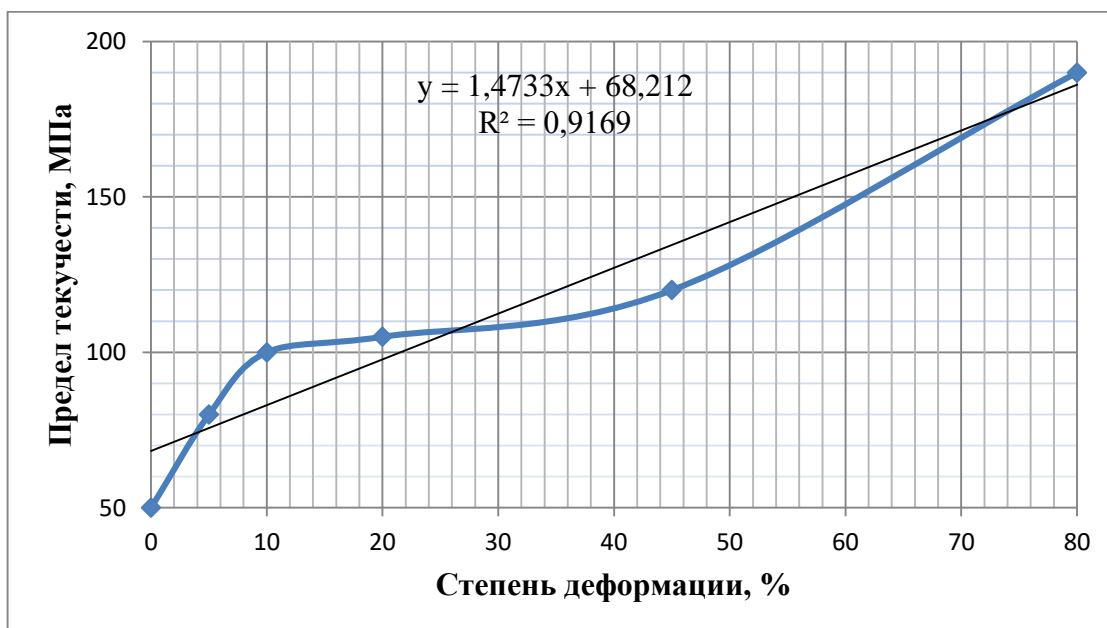


Рисунок 7. Зависимость предела текучести от степени деформации для сплава ER1100

В результате получили зависимости, где предел прочности изменяется по формуле:

$$\sigma_B = 0,0085 \cdot (\varepsilon^2) + 0,05268 \cdot \varepsilon + 92,363, \quad (13)$$

а предел текучести:

$$\sigma_T = 1,4733 \cdot \varepsilon + 68,212, \quad (14)$$

Усилие волочения определяется как:

$$P_B = F \cdot \sigma_{\text{вол}}, \quad (15)$$

где F – площадь поперечного сечения профиля на выходе из волоки;

$\sigma_{\text{вол}}$ – напряжение волочения.

Необходимым условием является, что напряжение волочения должно быть меньше предела прочности проволоки после выхода из волоки. В противном случае может произойти обрыв. Поэтому при волочении обязательно должно соблюдаться условие:

$$K_3 = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\text{вол}}} \geq [K_3], \quad (16)$$

где K_3 – расчётный коэффициент запаса;

$[K_3]$ – нормированный коэффициент запаса, 1,35...2,5.

Коэффициент запаса – это величина, показывающая способность проволоки выдерживать прилагаемую к ней нагрузку. Наличие запаса прочности обеспечивает надежность процесса и позволяет избежать обрыва проволоки.

Нормированный коэффициент запаса показывает значения, при которых можно избежать обрыва проволоки.

Нормированный коэффициент запаса принимаем равный 1,25.

По вышеуказанным формулам рассчитаем напряжение волочения, коэффициент запаса и усилие волочения для каждого прохода. Данные расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет режимов волочения для получения проволоки диаметром 2,24 мм из заготовки диаметром 5 мм

Исходные данные	
Диаметр заготовки, мм	5
Диаметр готовой проволоки, мм	2,24
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24
Предел текучести	34,32

Результаты расчета							
Номер прохода	1	2	3	4	5	6	7
Маршрут волочения	4,50	4	3,55	3,15	2,8	2,5	2,24
Степень единичной деформации, %	19,00	20,99	21,23	21,27	20,99	20,28	19,72
Суммарная степень деформации, %	19,00	36,00	49,59	60,31	68,64	75,00	79,93
Коэффициент вытяжки	1,23	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25	1,25
Суммарная вытяжка	4,98						
Временное сопротивление разрыву (предел прочности), МПа	105,44	122,34	139,39	155,05	168,57	179,69	188,77
Предел текучести, МПа	96,20	121,25	141,27	157,07	169,34	178,71	185,97
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, МПа	35,76	49,81	58,72	65,39	69,56	70,90	71,73
Коэффициент запаса	2,95	2,46	2,37	2,37	2,42	2,53	2,63
Усилие волочения, Н	568,73	625,88	581,26	509,58	428,31	348,05	282,68

Определение энергосиловых параметров процесса волочения является необходимым для выбора оборудования. Здесь надо рассчитывать мощность волочения, мощность двигателей, скорость волочения, производительность и расход электрической энергии.

Определим скорость волочения в каждом проходе и необходимую мощность для волочения.

Более распространены станы многократного волочения, на которых за одну установку осуществляют несколько переходов. Для проволоки используют многократные машины без скольжения металла относительно барабана. На таких станах должно жестко соблюдаться условие постоянства объема металла, расходуемого в одну секунду:

$$F_i \cdot V_i = \text{const}, \quad (17)$$

где F_i – площадь поперечного сечения;

V_i – скорость движения проволоки на i – том барабане.

Последнее условие можно записать для двух соседних барабанов с номерами $(i - 1)$ и i в следующем виде:

$$F_{i-1} \cdot V_{i-1} = F_i \cdot V_i$$

Обозначив в i – м пропуске вытяжку и отношение скоростей двух соседних барабанов соответственно:

$$\lambda_i = \frac{F_{i-1}}{F_i}; v_i = \frac{V_i}{V_{i-1}}, \lambda_i = v_i$$

$$V_{i-1} = \frac{V_i \cdot F_i}{F_{i-1}}. \quad (18)$$

По данным формулам определим скорость волочения в каждом проходе. Скорость волочения в последнем проходе 20 м/с.

Зная величину усилия и скорость волочения определить мощность по следующим формулам:

$$W_i = P_i \cdot V_i; \quad (19)$$

где V_i — скорость волочения через i -ую волоку;

P_i — усилие волочения.

Данные расчета скорости и мощности волочения приведены в таблице 5 для каждого прохода.

Таблица 5. Энергосиловые параметры процесса волочения для получения проволоки диаметром 2,24 мм из заготовки диаметром 5 мм

Усилие волочения, Н	568,73	625,88	581,26	509,58	428,31	348,05	282,68
Скорость волочения, м/с	5,0	6,3	8,0	10,1	12,8	16,1	20,0
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	2,82	3,93	4,63	5,15	5,48	5,59	5,65
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	44,24						
Производительность, т/ч	0,75						

2.2. Расчет маршрутов волочения для получения сварочной алюминиевой проволоки диаметром 2; 1,4; 1 мм

Расчеты ведем по вышеуказанным формулам пункта 2.1.

Ниже предоставлены расчеты режимов волочения для получения проволоки диаметром 2 мм – таблица 6; диаметром 1,4 мм – таблица 7; диаметром 1 мм – таблица 8;

Таблица 6. Расчет параметров процесса волочения для получения проволоки диаметром 2 мм из заготовки диаметром 5 мм за семь проходов

Исходные данные	
Диаметр заготовки, мм	5
Диаметр готовой проволоки, мм	2
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24
Предел текучести	34,32

Результаты расчета							
Номер прохода	1	2	3	4	5	6	7
Маршрут волочения	4,35	3,8	3,3	2,9	2,5	2,24	2
Степень единичной деформации, %	24,31	23,69	24,58	22,77	25,68	19,72	20,28
Суммарная степень деформации, %	24,31	42,24	56,44	66,36	75,00	79,93	84,00
Коэффициент вытяжки	1,32	1,31	1,33	1,29	1,35	1,25	1,25
Суммарная вытяжка	6,25						
Временное сопротивление разрыву, МПа	110,19	129,78	149,17	164,75	179,69	188,77	196,59
Предел текучести, МПа	104,03	130,44	151,37	165,98	178,71	185,97	191,97
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, МПа	49,76	60,72	73,26	74,14	90,63	71,73	76,17
Коэффициент запаса	2,21	2,14	2,04	2,22	1,98	2,63	2,58
Усилие волочения, Н	739,49	688,60	626,63	489,74	444,86	282,68	239,28
Скорость волочения, м/с	4,2	5,5	7,3	9,5	12,8	15,9	20,0
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	3,13	3,81	4,60	4,66	5,69	4,51	4,79
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	52,06						
Производительность, т/ч	0,60						

Для получения проволоки диаметром 1,4 мм, нам необходимо взять заготовку диаметром 4 мм, чтобы получить проволоку необходимого качества и не превысить суммарную степень деформации, чтобы не допустить обрыва проволоки. В результате чего, из проволоки диаметром 5 мм, мы получаем необходимую нам заготовку диаметром 4 мм. Затем необходимо провести рекристаллизационный отжиг для снятия наклепа и придания первоначальных свойств прочности и пластичности. После чего мы можем продолжить деформирование.

Таблица 7. Расчет параметров процесса волочения для получения проволоки диаметром 1,4 мм из заготовки диаметром 4 мм за семь проходов

Исходные данные							
Диаметр заготовки, мм	4						
Диаметр готовой проволоки, мм	1,4						
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24						
Предел текучести	34,32						
Результаты расчета							
Номер прохода	1	2	3	4	5	6	7
Маршрут волочения	3,4	2,9	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4
Степень единичной деформации, %	27,75	27,25	25,68	29,44	26,53	20,99	23,44
Суммарная степень деформации, %	27,75	47,44	60,94	72,44	79,75	84,00	87,75
Коэффициент вытяжки	1,38	1,37	1,35	1,42	1,36	1,27	1,31
Суммарная вытяжка	8,16						
Временное сопротивление разрыву, МПа	113,53	136,48	156,03	175,12	188,44	196,59	204,04
Предел текучести, МПа	109,10	138,10	157,99	174,93	185,71	191,97	197,49
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, МПа	60,16	74,66	80,12	102,98	97,52	78,85	90,91
Коэффициент запаса	1,89	1,83	1,95	1,70	1,93	2,49	2,24
Усилие волочения, Н	546,22	493,12	393,29	356,68	248,16	158,55	139,94
Скорость волочения, м/с	3,4	4,7	6,3	8,9	12,1	15,3	20,0
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	1,85	2,30	2,47	3,17	3,00	2,43	2,80
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	61,37						
Производительность, т/ч	0,29						

Для получения проволоки диаметром 1 мм, нам необходимо взять полуфабрикат диаметром 2,5 мм. В результате чего, из заготовки диаметром 5 мм, мы получаем полуфабрикат диаметром 2,5 мм, затем проводим рекристаллизационный отжиг для снятия наклепа и придания первоначальных свойств прочности и пластичности, и продолжаем деформирование.

Таблица 8. Расчет параметров процесса волочения для получения проволоки диаметром 1 мм из заготовки диаметром 2,5 мм за семь проходов

Исходные данные	
Диаметр заготовки, мм	2,5
Диаметр готовой проволоки, мм	1
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24
Предел текучести	34,32

Результаты расчета							
Номер прохода	1	2	3	4	5	6	7
Маршрут волочения	2,15	1,85	1,6	1,4	1,25	1,12	1
Степень единичной деформации, %	26,04	25,96	25,20	23,44	20,28	19,72	20,28
Суммарная степень деформации, %	26,04	45,24	59,04	68,64	75,00	79,93	84,00
Коэффициент вытяжки	1,35	1,35	1,34	1,31	1,25	1,25	1,25
Суммарная вытяжка	6,25						
Временное сопротивление разрыву, МПа	111,84	133,59	153,09	168,57	179,69	188,77	196,59
Предел текучести, МПа	106,58	134,86	155,20	169,34	178,71	185,97	191,97
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, МПа	54,85	69,18	77,12	77,95	70,90	71,73	76,17
Коэффициент запаса	2,04	1,93	1,99	2,16	2,53	2,63	2,58
Усилие волочения, Н	199,14	185,96	155,06	119,99	87,01	70,67	59,82
Скорость волочения, м/с	4,3	5,8	7,8	10,2	12,8	15,9	20,0
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	0,86	1,09	1,21	1,22	1,11	1,13	1,20
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	52,22						
Производительность, т/ч	0,15						

При получении алюминиевой проволоки диаметром 1 – 2,5 мм из заготовки диаметром 5 мм мы можем получать, необходимые заготовки разного диаметра или конечную продукцию такого же диаметра указанного в ГОСТ 7871 – 2019. Это позволит нам производить проволоку различного диаметра.

Рассчитаем маршруты волочения для различных диаметров получаемой продукции. Подбор маршрута будем вести так, чтобы максимально приблизиться к однородной деформации по сечению металла. И так чтобы получить необходимые диаметры проволоки, представленные в ГОСТ 8781 –2019 (Примечание — Типовые диаметры сварочной проволоки: 0.80; 1.00; 1.20; 1.40; 1.60; 1.80; 2.00; 2.24; 2.50; 2.80; 3.00; 3.15; 3.50; 4.00; 4.50; 5.00; 5.60; 6.00; 6.30; 7.10; 8.00; 9.00 мм.).

Таким образом, мной разработана математическая модель процесса волочения проволоки в монолитной волоке, которая при расчете маршрутов волочения позволяет учитывать неравномерность деформации при выборе единичных обжатий. На основе литературных экспериментальных данных были составлены формулы для определения предела прочности и текучести алюминиевого сплава (марки). Для автоматизации расчетов маршрутов волочения алюминиевой проволоки мною была написана программа в математической таблице Excel. С помощью разработанной программы рассчитаны маршруты волочения алюминиевой проволоки и определены энергосиловые параметры процесса волочения.

Разработанные маршруты волочения представлены в таблице 9.

Таблица 9. Маршруты волочения для различных диаметров получаемой продукции

d готового профиля, мм	d заготовки, мм	Кол-во проходов	Угол волоки	Коэф. трения	Сумм. Степень деформации	Предел прочности заготовки, МПа	Предел текучести заготовки, МПа	Предел прочности готового изделия, МПа	Предел текучести готового изделия, МПа	Маршрут волочения
4,5	5	1	6	0,03	0,19	89,24	34,32	105,4407	96,2047	5→4,5
4	5	2			0,36	89,24	34,32	122,3438	121,2508	5→4,5→4
3,55	5	3			0,4959	89,24	34,32	139,38994 09	141,2729 47	5→4,5→4→3,55
3,15	5	4			0,6031	89,24	34,32	155,05132 49	157,0667 23	5→4,5→4→3,55→3,15
2,8	5	5			0,6864	89,24	34,32	168,56987 36	169,3393 12	5→4,5→4→3,55→3,15→2,8
2,5	5	6			0,75	89,24	34,32	179,6855	178,7095	5→4,5→4→3,55→3,15→2,8→2,5
2,24	5	7			0,799296	89,24	34,32	188,77421 14	185,9722 8	5→4,5→4→3,55→3,15→2,8→2,5→2,24
2	5	7			0,84	89,24	34,32	196,5902	196,59	5→4,35→3,8→3,3→2,9→2,5→2,24→2
1,8	4	6			0,7975	89,24	34,32	188,43583 13	185,7076 75	4→3,5→3→2,6→2,24→2→1,8
1,6	4	7			0,84	89,24	34,32	196,5902	191,9692	4→3,5→3→2,6→2,24→2→1,8→1,6
1,4	4	7			0,8775	89,24	34,32	204,04023 13	197,4940 75	4→3,4→2,9→2,5→2,1→1,8→1,6→1,4
1,2	3,3	7			0,85652	89,24	34,32	199,84267 6	194,4030 54	3,3→2,85→2,5→2,15→1,85→1,6→1,4→1,2
1,12	2,5	6			0,799296	89,24	34,32	188,77421 14	185,9722 8	2,5→2,15→1,85→1,6→1,4→1,25→1,12
1	2,5	7			0,84	89,24	34,32	196,5902	191,9692	2,5→2,15→1,85→1,6→1,4→1,25→1,12→1

3. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

3.1. Выбор волочильного оборудования для производства проволоки

Исходя из геометрических размеров проволоки и наиболее распространенной заготовки для волочения, получаем, что нам надо получить проволоку диаметром от 2,5 до 1 мм из катанки диаметром 5 мм различными способами (в один или несколько этапов). В один этап проволоку получают из заготовки диаметром 5 мм за 7 проходов (проволока диаметром 2; 2,24 мм). В несколько этапов из заготовки диаметром 5 мм получают необходимую нам дополнительную заготовку диаметром 4; 3,3; 2,5 мм и затем получают проволоку нужного нам диаметра по маршруту волочения, представленному в таблице 9.

Для выбора удовлетворяющего нас основного оборудования, предназначенного для волочения проволоки, рассмотрим технические характеристики многократных волочильных станов различных типов: волочильные станы магазинного типа; волочильные станы петлевого типа; волочильные станы прямочного типа.

Станы магазинного типа работают так, что на каждый последующий барабан проволока подается с предыдущего через специальное поводковое устройство, а скорость волочения волочильщик регулирует переключением передач на многоступенчатом редукторе. Этот способ согласования скоростей является главным недостатком этого типа станов, так как он значительно снижает производительность машины. По этой причине волочильные станы магазинного типа не могут быть использованы для организации производства, так как станы такого типа являются устаревшими и их использование нерентабельно. Технические характеристики волочильные станы магазинного типа представлены в таблице 10.

Таблица 10. Технические характеристики волочильных станов магазинного типа

Параметр	АЗТМ			ВНИИМ ЕТМАШ	SKET, Германия			
	6/450	6/350	8/250	2/550	UDZSA 5000	UDZSA 2500	UDZSA 1250	UDZSA 630
Кратность	6	6	8	2	1...6	1...10	1...10	1...12
Диаметр барабана, мм	450	350	250	550	700	550	500	350
Максимальная сила волочения, кН	4	2	1	5	49	24,5	12,25	6,3
Скорость волочения, м/с	5...10	5...10	3,25...9,3	3...4,3	5,5	18	18	18
Кинематическая вытяжка	1,3	1,25	1,2	1,45	1,35	1,3	1,3	1,25
Мощность двигателя, кВт	9,2; 10,7; 13,5	9,2; 10,7; 13,5	3,5		40; 45; 55	30; 40; 55	22; 30	13; 17; 18,5

Технические характеристики волочильных станов петлевого типа представлены в таблице 11 и 12.

Таблица 11. Технические характеристики волочильных станов петлевого типа конструкции ВНИИМЕТМАШ

Параметр	5-6/550	3-4/550	6-7/350	6/350	8-9/250
Кратность	5...6	3...4	6...7	6	8...9
Диаметр барабана, мм	550	550	350	350	250
Скорость волочения, м/с	5...10	3,3...6,7	8...20	4...10	5,9...16,7
Кинематическая вытяжка	1,25	1,25	1,2	1,2	1,18
Мощность двигателя, кВт	29,4	29,4	19,8	8,8	4,4

Таблица 12. Технические характеристики волочильного стана ZHT (Kieselstein GmbH)

Модель	3	8	16	25	50
Диаметр барабана, мм	300 350 400	350 400 480(500)	480 560 630	630 710	710 800 900
Максимальный диаметр заготовки, мм	3,0	5,5	6,5	8,0	12,0
Диаметр готовой проволоки, мм	1,2...0,6	2,0...1,0	3,5...1,4	4,5...1,8	8,0...3,0
Максимальная скорость волочения, м/с	35	35	35	25	20
Мощность двигателя, кВт	15	37	45	55	90

В петлевых станах для синхронизации скоростей барабанов используется специальное устройство, создающее петлю за счет изменения длины которой уравниваются скорости барабанов. В таких машинах используется индивидуальная модель привода. Недостатком этих станов является то, что появляются дополнительные перегибы проволоки. Это отрицательно сказывается на качестве готового изделия, кроме того механизм, создающий петлю, достаточно сложен.

Рассмотрим технические характеристики волочильных станов магазинного типа – таблица 13 и 14.

Таблица 13. Технические характеристики волочильных станов прямоточного типа

Параметр	ВНИИМЕТМАШ			Венгрия		Германия
	5/750	5-6/550	6-7/350	DHE 6/600	DHE 5/750	UDZSO 160
Кратность	5	5...6	6...7	6	5	10
Диаметр барабана, мм	750	550	350	600	750	250
Скорость волочения, м/с	4,2	11,2	20	5	3,5	7.6...20
Кинематическая вытяжка	1,18	1,18	1,18	1,24	1,24	1,21
Мощность двигателя, кВт	55	55	20	3,2	50	групповой привод, 100

Таблица 14. Технические характеристики прямоточного волочильного стана RUBIN (Kieselstein GmbH)

Модель	3	8	16	25	50	75	100
Диаметр барабана, мм	300 350 400	350 400 480 (500)	480 560 630	630 710	710 800 900	800 900	900 1000
Максимальный диаметр заготовки, мм	3,0	5,5	6,5	8,0	12,0	14,0	16,0
Диаметр готовой проволоки, мм	1,2-0,6	2,0-1,0	3,5-1,4	4,5-1,8	8,0-3,0	10,0-4,0	12,0-6,0
Максимальная скорость волочения, м/с	35	35	35	25	20	12	8
Мощность двигателя, кВт	15	37	45	55	90	110	130

По сравнению со станами магазинного и петлевого типа, прямоточные станы характеризуются такими преимуществами, как исключение скручивания и перегибов проволоки, облегчение заправки стана, возможность обработки порошковой проволоки. Станы прямоточного типа, в которых протягиваемая проволока непосредственно с барабанов поступает в волокна без промежуточных петлеобразующих роликов, имеет автоматическое регулирование соотношения скоростей промежуточных барабанов в течение всего процесса волочения. Поэтому волочильные станы прямоточного типа являются наиболее используемыми.

Научно-производственным институтом “Учебная техника и технологии” ЮУрГУ (НИУ) был разработан автоматизированный прямоточный трехкратный лабораторный волочильный стан ВП-3/400 со следующими характеристиками, представленными в таблице 15.

Таблица 15. Технические характеристики прямоточного волочильного стана ВП-3/400

Кратность	Диаметр барабана, мм	Максимальный диаметр заготовки, мм	Максимальная скорость волочения, м/с	Мощность двигателя, кВт
3	400	3	1	2,2

На рисунке 8 представлена 3D-модель разработанного трёхкратного прямоточного волочильного стана ВП-3/400.

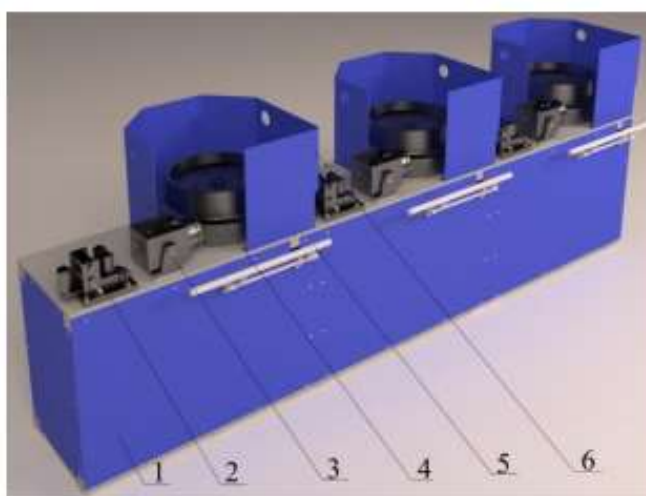


Рисунок 8. Трёхкратный волочильный стан.

Стан состоит из трёх волочильных блоков (рис. 8 поз. 1) установленных последовательно и схожих по своему внешнему виду и конструкции. Благодаря унифицированности этих блоков такой стан обладает свойством модульности и при минимальном вмешательстве в конструкцию может быть модернизирован как в однократный волочильный стан, так и в многократный стан с требуемым числом тянущих барабанов и с необходимыми техническими характеристиками. На каждом волочильном блоке располагаются измеритель натяжения (рис. 8, поз. 2), мыльница с установленной в ней волокой (рис. 8, поз. 3) и тянущий барабан (рис. 8, поз. 4) диаметром 400 мм.

Данный волочильный стан полностью автоматизирован, в его конструкции используются высокоточные измерительные датчики, которые поз-

воляют фиксировать энергосиловые параметры процесса, управлять процессом волочения, регулирую скорости вращения барабанов, вести сбор информации и долговременное её хранение.

Для выбора конструкции волочильного стана нам необходимо учесть такие характеристик как: кратность волочильного процесса; скорость волочения и мощность двигателя, необходимая для процесса волочения.

Исходя из таблицы 9, мы можем увидеть, что маршруты волочения построены так, что количество проходов не превышает семи, таким образом, волочильный стан должен быть семикратным. А максимальная скорость волочения будет составлять 20 м/с.

При расчете энергосиловых параметров режимов волочения были определены необходимые мощности двигателей для каждого прохода. Для того чтобы выбрать мощность двигателя для стана, нам необходимо определить максимальную мощность из всех маршрутов, эта мощность составляет 5,65 кВт. В результате чего, необходимый нам стан должен быть оборудован двигателем с мощностью больше 5,65 кВт. Но нужно учесть, что выбор стана с мощностью двигателя больше 10 кВт будет нерентабельно, так как, цена такого стана будет в несколько раз выше, а его мощность не будет использована в полной мере.

Прямоточные волочильные станы являются наиболее современным и перспективным типом волочильных станков, так как их конструкция такова, что проволока не образует изгибов в процессе волочения. Несомненным плюсом таких станков является то, что проволока не накапливается на барабанах, а также поступает из барабана непосредственно в волоку, минуя петлеобразующие ролики, что снижает возможность образования брака. Таким образом, в прямоточных непрерывных станах проволока, находясь в натянутом упруго-напряженном состоянии, следует с барабана на барабан через волоку, не образуя петли. На практике применяют 5...12-ти кратные станы. Электропривод таких станков индивидуальный – каждый волочильный блок приводится в движение через понижающий редуктор своим электродвигателем

Функциональная схема волочильного стана представлена на рисунке 9 .

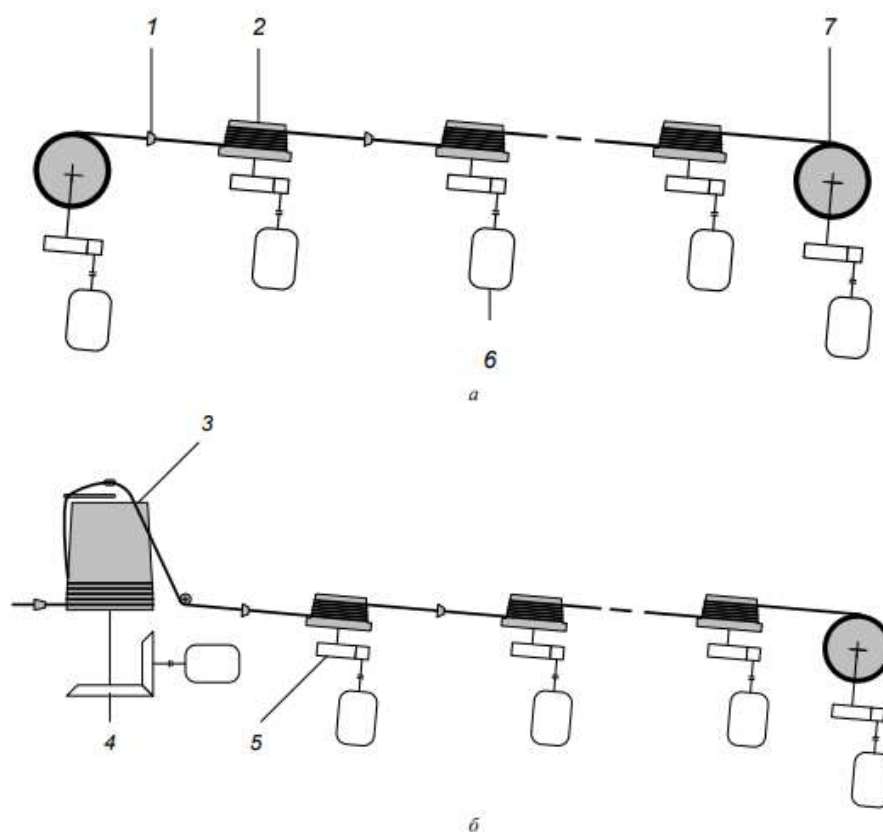


Рисунок 9. Схема технологической линии непрерывного n-кратного прямоточного волочильного стана: 1 – волока; 2 – барабан прямоточного волочильного блока; 3 – барабан волочильного блока с накоплением; 4, 5 – редукторы; 6 – приводной электродвигатель; 7 – барабан намоточного аппарата

Таким образом, для получения готовой проволоки по рассчитанным нами маршрутам, выбираем прямоточный волочильный стан, конструкции НПИ “Учебная техника и технологии” с двигателями 7 кВт, кратностью стана равной семи и с максимальной скоростью на последнем барабане равной 20 м/с.

3.2. Выбор вспомогательного оборудования

Одной из тенденций современного производства проволоки является переход от технологии химического травления в растворе соляной кислоты для очистки поверхности катанки от окалины к перспективной и существенно более безопасной для окружающей среды, бескислотной технологии механи-

ческой очистки. Использование современного оборудования для механического удаления окалины позволяет добиться степени очистки, сравнимой с получаемой при кислотном травлении и достаточной для большинства практических применений. При этом удастся избежать значительных проблем, связанных с утилизацией отработанных растворов. Технология бескислотной подготовки горячекатаного проката к волочению осуществляется с использованием аппаратов механического удаления окалины серии MDC-7L.

Для удаления окалины используется окалиноломатель, в котором используются ролики из карбида вольфрама BR-7 и BR-13. Стойкость роликов при удалении окалины с катанки более 5000 т. – рисунок 10.



Рисунок 10. Окалиноломатель RD 140-2(до $\varnothing 14$ мм) фирмы GCR Eurodraw

Для очистки от окалины используется блок очистки с помощью проволочных щеток (иглофрез) модели SB-7 из высокоуглеродистой закаленной проволоки. Стойкость иглофрез при удалении окалины с катанки более 500 т. – рисунок 11.



Рисунок 11. Узлы очистки металлическими щетками фирмы GCR Eurodraw

Одним из технологических звеньев современных проволочных станов являются разматыватели и моталки. Если первые предназначены для подачи заготовки в стан, то вторые обеспечивают съем готовой проволоки с чистового барабана или ее прием из чистовой прокатной клетки. Моталки присутствуют во всех без исключения прокатных и волочильных станах. Разматыватели же устанавливаются в тех случаях, когда по технологическим условиям заготовка подается к стану не в бунтах, а в шпулях.

Наиболее перспективным устройством для смотки готовой проволоки является двухкатушечный намоточный аппарат с параллельным размещением вертикально расположенных катушек рисунок 12.



Рисунок 12. Двухкатушечные вертикальный намоточный аппарат

Также необходимым вспомогательным оборудованием являются: острильный станок – предназначенный для заострения концов проволоки крупного или среднего сечения (рисунок 13) и контактная машина стыковой сварки – для сваривания концов проволоки (рисунок 14).



Рисунок 13. Станок острильный



Рисунок 14. Контактная машина стыковой сварки
«Best Machinery» (Италия)

Поступающие в волочильный цех заготовки складывают на цеховом складе. Оборудование заготовительных и других складов должно предусматривать полную механизацию работ, а транспортировка бухт заготовки, передельной проволоки и готовой продукции – использование напольных конвейеров и монорельсовых дорог при автоматическом адресовании грузов к месту назначения.

Для термической обработки будем использовать электрическую печь камерного типа, так как камерная печь позволяет распределять температуру равномерно, а регулировка всех параметров термообработки отличается высокой точностью. Кроме того, камерные печи способны создавать разнообразные температурно-временные условия. Камерная печь с выдвижным подом представлена на рисунке 15.



Рисунок 15. Камерная печь с выдвижным подом

Для обеспечения нормального обслуживания цеха предусматривают следующие службы: контрольно-испытательную станцию (в бытовых помещениях), ремонтное, инструментальное хозяйство, а также необходимое для работы этих служб оборудование.

Таким образом, в качестве оборудования для производства алюминиевой сварочной проволоки предлагается использовать 7-ми кратный волоочильный стан с двигателями 7 кВт, диаметром барабана 400 мм и максимальной скоростью волочения 20 м/с. Для подготовки поверхности к волочению использовать окалиноломатель и устройство для очистки проволоки металлическими щетками. Для термической обработки использовать печь камерного типа.

4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Необходимым условием для организации производства является разработка процесса волочения с малыми энергетическими затратами и высокой производительностью.

Рассмотрим влияние технологических параметров таких как скорость волочения, единичная степень деформации, угол волоки, коэффициент трения на энергетические затраты и производительность процесса волочения.

Влияние технологических параметров на энергетические затраты напрямую связано со скоростью и усилием волочения. Рассмотрим, какое влияние оказывают изменения единичной степени деформации, угла волоки и коэффициента трения на усилие волочения.

4.1. Влияние степени деформации

Рассмотрим влияние степени деформации на усилие волочения.

Для этого возьмем заготовку диаметром 5 мм и получим из нее проволоку диаметром 2,5 мм, увеличивая единичную степень деформации с 20 до 30% – рисунок 16.

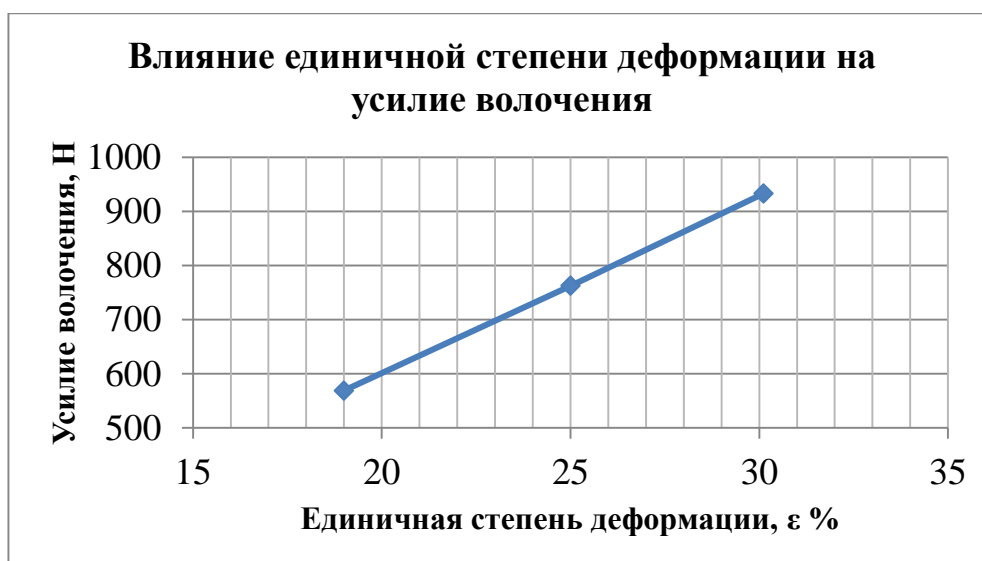


Рисунок 16. Влияние степени деформации на усилие волочения

Из рисунка 16 следует, что при увеличении единичной степени деформации усилие волочения увеличивается. Также увеличение единичной степени деформации приводит к изменению маршрута волочения. Определим, как повлияет изменение единичной степени деформации от 20 до 30% на изменение маршрута волочения, на расход электрической энергии и на производительность процесса.

В первом случае зададим единичную степень деформации 20%, затем увеличим её до 25% и 30%. В результате чего маршруты волочения будут иметь следующий вид – таблица 16. Влияние единичной степени деформации на маршрут волочения представлено на рисунке 17.

Таблица 16 – Маршруты волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм из заготовки 5 мм, при различной единичной степени деформации

Единичная степень деформации, ε %	Маршрут волочения	Количество проходов
20	5→4,5→4→3,55→3,15→2,8→2,5	6
25	5→4,33→3,75→3,25→2,82→2,5	5
30	5→4,18→3,50→2,93→2,5	4

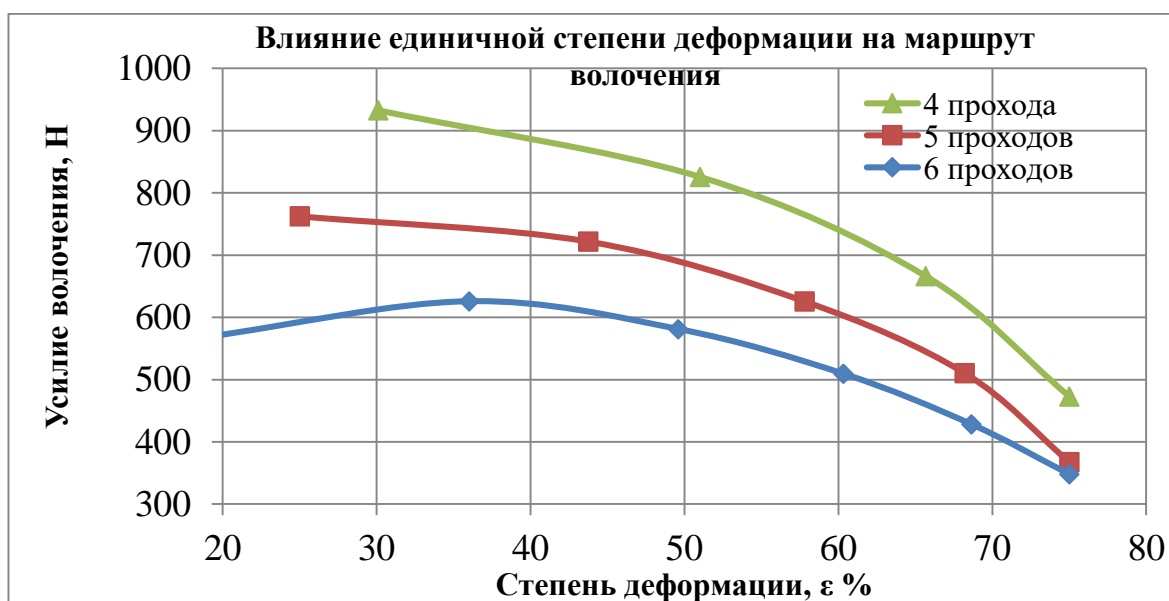


Рисунок 17. Влияние единичной степени деформации на маршрут волочения

По данным рисунка 17 мы можем сделать вывод, что при уменьшении кратности маршрута волочения и увеличении единичной степени деформации усилие в каждом проходе увеличивается.

Рассмотрим, какое влияние окажет изменение маршрута волочения за счет увеличения единичной степени деформации на расход электрической энергии и производительность процесса. Расчёты данных маршрутов волочения представлены в таблице 17, 18, 19.

Таблица 17. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм, при единичной степени деформации 20% за 6 проходов

Исходные данные						
Диаметр заготовки, мм	5					
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5					
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24					
Предел текучести, МПа	34,32					
Результаты расчета						
Номер прохода	1	2	3	4	5	6
Маршрут волочения	4.50	4	3.55	3.15	2.8	2.5
Степень единичной деформации, %	19	21	21	21	21	20
Суммарная степень деформации, %	19.00	36.00	49.59	60.31	68.64	75.00
Коэффициент вытяжки	1.23	1.27	1.27	1.27	1.27	1.25
Суммарная вытяжка	4.00					
Временное сопротивление разрыву, МПа	105.44	122.34	139.39	155.05	168.57	179.69
Предел текучести, МПа	96.20	121.25	141.27	157.07	169.34	178.71
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0.05236	0.05236	0.05236	0.05236	0.05236	0.05236
Коэффициент трения	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Напряжение волочения, МПа	35.76	49.81	58.72	65.39	69.56	70.90
Коэффициент запаса	2.95	2.46	2.37	2.37	2.42	2.53
Усилие волочения, Н	568.73	625.88	581.26	509.58	428.31	348.05
Скорость волочения, м/с	6.17	7.81	9.92	12.60	15.94	20.00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	3.51	4.89	5.77	6.42	6.83	6.96
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	36,70					
Производительность, т/ч	0,94					

Таблица 18. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм, при единичной степени деформации 25% за 5 проходов

Исходные данные					
Диаметр заготовки, мм	5				
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5				
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24				
Предел текучести, МПа	34,32				
Результаты расчета					
Номер прохода	1	2	3	4	5
Маршрут волочения	4,33	3,75	3,25	2,82	2,50
Степень единичной деформации, %	25	25	25	25	21
Суммарная степень деформации, %	25,00	43,75	57,80	68,19	75,00
Коэффициент вытяжки	1,33	1,33	1,33	1,33	1,27
Суммарная вытяжка	4,00				
Временное сопротивление разрыву, МПа	110,85	131,68	151,21	167,81	179,69
Предел текучести, МПа	105,05	132,67	153,37	168,68	178,71
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, МПа	51,77	65,36	75,51	81,76	74,90
Коэффициент запаса	2,14	2,01	2,00	2,05	2,40
Усилие волочения, Н	762,33	721,83	625,63	510,68	367,69
Скорость волочения, м/с	6,67	8,89	11,85	15,72	20,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	5,08	6,42	7,41	8,03	7,35
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	36,61				
Производительность, т/ч	0,94				

Таблица 19. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм, при единичной степени деформации 30% за 4 прохода

Исходные данные				
Диаметр заготовки, мм	5			
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5			
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24			
Предел текучести, МПа	34,32			
Результаты расчета				
Номер прохода	1	2	3	4
Маршрут волочения	4,18	3,50	2,93	2,50
Степень единичной деформации, %	30	30	30	27
Суммарная степень деформации, %	30,11	51,00	65,66	75,00
Коэффициент вытяжки	1,43	1,43	1,43	1,37
Суммарная вытяжка	4,00			
Временное сопротивление разрыву, МПа	115,93	141,34	163,60	179,69
Предел текучести, МПа	112,57	143,35	164,95	178,71
Полуугол волоки, °	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, МПа	67,96	85,83	98,87	96,41
Коэффициент запаса	1,71	1,65	1,65	1,86
Усилие волочения, Н	932,59	825,75	666,63	473,25
Скорость волочения, м/с	7,15	10,20	14,56	20,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	6,67	8,43	9,71	9,47
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	36,59			
Производительность, т/ч	0,94			

Как следует из результатов математического моделирования, наименьший расход электроэнергии на процесс волочения, достигается при четырехкратном маршруте волочения. Но следует помнить, что для алюминиевой проволоки максимальное единичное обжатие может достигать от 20 до 25%.

Таким образом, по данным расчета мы можем сделать вывод, что при изменении маршрута волочения (его уменьшении) расход электрической энергии будет незначительно уменьшаться, а производительность не изме-

нится. Также нужно учесть, что мы хотим получить продукцию определённого качества и диаметра, проволока должна соответствовать диаметрам ГОСТ 7871-2019. Поэтому по рассчитанным нами маршрутам волочения – таблица 9 мы можем получить проволоку диаметром согласно требованию ГОСТ, и не только диаметром от 2,5 до 1мм, но и больших размеров, что позволит расширить сортамент готовой продукции. Тогда лучшим вариантом для получения проволоки нужного нам диаметра единичная степень деформации должна стремиться к 25%, при этом затраты на электроэнергию будут минимальными, а производительность не изменится.

4.2. Влияние угла волоки

Определим влияние угла волки на усилие волочения.

Для этого построим зависимость усилия волочения от полуугла волоки за один проход при разных степенях деформации, для разных размеров проволоки: 1) 5→4,5 ($\epsilon = 19\%$); 2) 4→3,5 ($\epsilon = 23\%$); 3) 3,3→2,85 ($\epsilon = 25\%$) – рисунок 18.

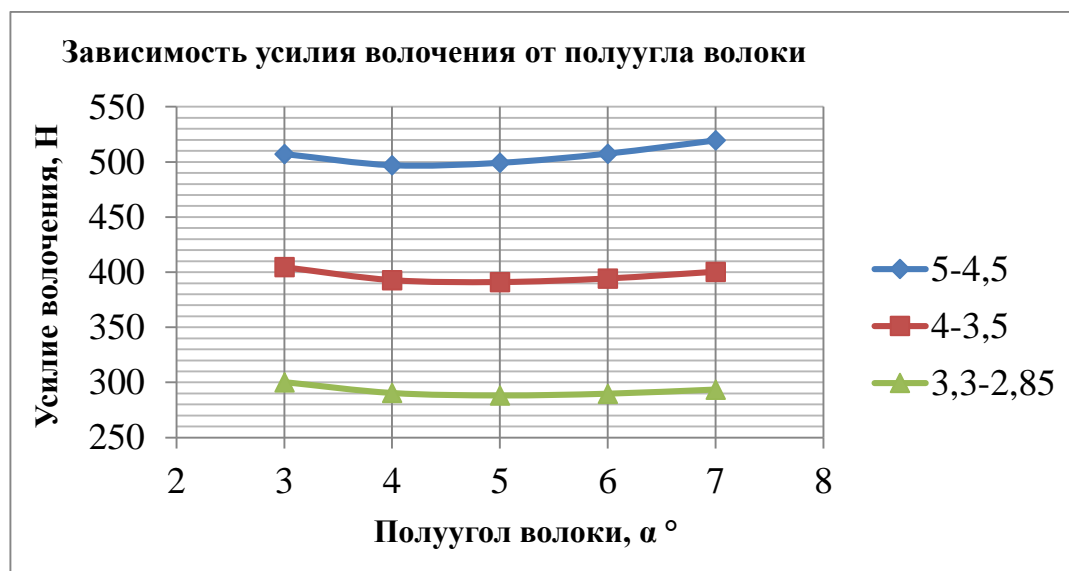


Рисунок 18. Зависимость усилия волочения от полуугла волоки

Из рисунка 18 следует, что при полуугле волоки 4° и 5° усилие волочения будет минимальным независимо от степени деформации. Но следует помнить, что для алюминиевой проволоки максимальное единичное обжатие

может достигать от 20 до 25%, как было сказано ранее. Тогда из рисунка 4 глава 2 мы можем сделать вывод, что при угле волокни 10° для равномерной деформации по сечению проволоки оптимальная степень деформации должна составлять 30%, что не соответствует для алюминиевых сплавов. Поэтому рассмотрим, как повлияет изменение угла волокни от 6° до 8° на производительность и расход электрической энергии для получения проволоки диаметром 2,5 мм – таблица 17 и 20 соответственно.

Таблица 20. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм, полуугол волокни 4°

Исходные данные						
Диаметр заготовки, мм	5					
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5					
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24					
Предел текучести, МПа	34,32					
Результаты расчета						
Номер прохода	1	2	3	4	5	6
Маршрут волочения	4,50	4	3,55	3,15	2,8	2,5
Степень единичной деформации, %	19	21	21	21	21	20
Суммарная степень деформации, %	19,00	36,00	49,59	60,31	68,64	75,00
Коэффициент вытяжки	1,23	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25
Суммарная вытяжка	4,00					
Временное сопротивление разрыву, МПа	105,44	122,34	139,39	155,05	168,57	179,69
Предел текучести, МПа	96,20	121,25	141,27	157,07	169,34	178,71
Полуугол волокни, °	4	4	4	4	4	4
Полуугол волокни, рад.	0,069813	0,069813	0,069813	0,069813	0,069813	0,069813
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, Мпа	34,15	47,35	55,79	62,12	66,12	67,51
Коэффициент запаса	3,09	2,58	2,50	2,50	2,55	2,66
Усилие волочения, Н	543,13	594,96	552,25	484,12	407,15	331,37
Скорость волочения, м/с	6,17	7,81	9,92	12,60	15,94	20,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	3,35	4,65	5,48	6,10	6,49	6,63
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	34,91					
Производительность, т/ч	0,94					

Таким образом, сравнивая результаты расчетов таблиц 17 и 20 видно, что при увеличении угла волокна расход электрической энергии будет уменьшаться, а производительность не изменится.

Но сравнение влияния угла волокна на расход электрической энергии проводился без учета коэффициента трения. Поэтому необходимо рассмотреть, какое влияние будет оказывать коэффициент трения на процесс волочения.

4.3. Влияние коэффициента трения

Для определения влияния коэффициента трения построим зависимость усилия волочения от коэффициента трения за один проход при разных степенях деформации, для различных диаметров проволоки: 1) 5→4,5 ($\epsilon = 19\%$); 2) 4→3,5 ($\epsilon = 23\%$); 3) 3,3→2,85 ($\epsilon = 25\%$), при этом будем постепенно увеличивать коэффициент трения – рисунок 19.

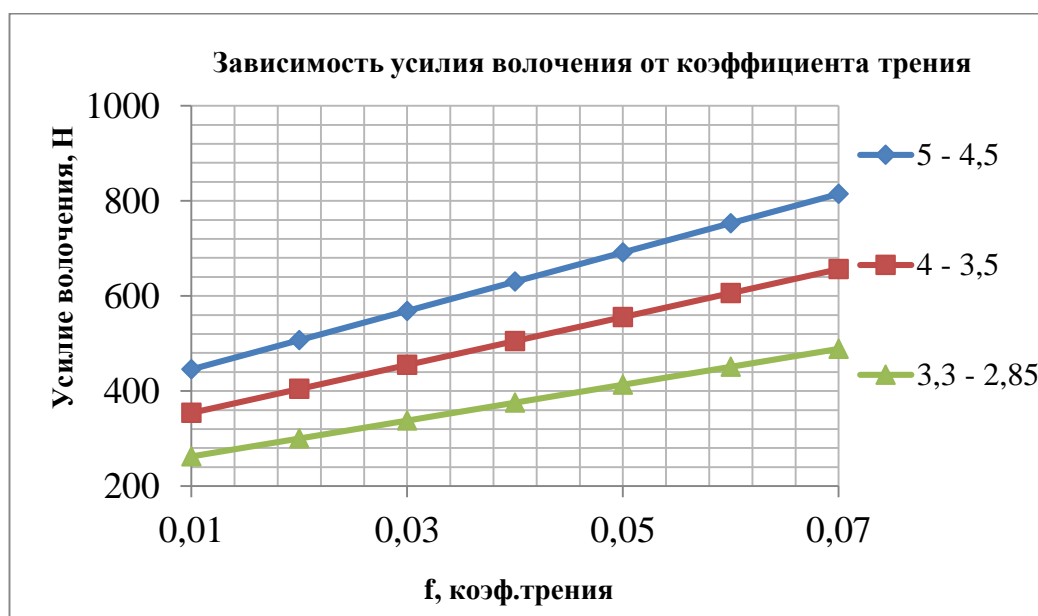


Рисунок 19. Зависимость усилия волочения от коэффициента трения

При увеличении коэффициента трения усилие возрастает, так как заготовку становится труднее деформировать из-за возникающей силы трения, которая препятствует процессу деформирования. Значение коэффициента

трения определить исходя из расчетов невозможно, его определяют экспериментально. В работе [5] показано, что когда полуугол волоки равен 3° коэффициент трения – 0,03; 4° – 0,04, 5° – 0,05 и т.д. Таким образом, рассмотрим, как будет изменяться расход электрической энергии и производительность, при некоторых соотношениях угла волоки и коэффициента трения для получения проволоки диаметром 2,5 мм: $\alpha - 3^\circ$ и $f - 0,03$ – таблица 17; $\alpha - 4^\circ$ и $f - 0,03$ – таблица 20; $\alpha - 3^\circ$ и $f - 0,04$ – таблица 21; $\alpha - 4^\circ$ и $f - 0,04$ – таблица 22.

Таблица 21. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм с соотношением: $\alpha - 3^\circ$ и $f - 0,04$

Исходные данные						
Диаметр заготовки, мм	5					
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5					
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24					
Предел текучести, МПа	34,32					
Результаты расчета						
Номер прохода	1	2	3	4	5	6
Маршрут волочения	4,50	4	3,55	3,15	2,8	2,5
Степень единичной деформации, %	19	21	21	21	21	20
Суммарная степень деформации, %	19,00	36,00	49,59	60,31	68,64	75,00
Коэффициент вытяжки	1,23	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25
Суммарная вытяжка	4,00					
Временное сопротивление разрыву, МПа	105,44	122,34	139,39	155,05	168,57	179,69
Предел текучести, МПа	96,20	121,25	141,27	157,07	169,34	178,71
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,0523	0,0523	0,0523	0,0523	0,0523	0,0523
Коэффициент трения	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Напряжение волочения, МПа	39,63	55,26	65,16	72,55	77,17	78,63
Коэффициент запаса	2,66	2,21	2,14	2,14	2,18	2,29
Усилие волочения, Н	630,25	694,36	644,94	565,42	475,18	385,99
Скорость волочения, м/с	6,17	7,81	9,92	12,60	15,94	20,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	3,89	5,42	6,40	7,12	7,58	7,72
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	40,71					
Производительность, т/ч	0,94					

Таблица 22. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм с соотношением: $\alpha - 4^\circ$ и $f - 0,04$

Исходные данные						
Диаметр заготовки, мм	5					
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5					
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24					
Предел текучести, МПа	34,32					
Результаты расчета						
Номер прохода	1	2	3	4	5	6
Маршрут волочения	4,50	4	3,55	3,15	2,8	2,5
Степень единичной деформации, %	19	21	21	21	21	20
Суммарная степень деформации, %	19,00	36,00	49,59	60,31	68,64	75,00
Коэффициент вытяжки	1,23	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25
Суммарная вытяжка	4,00					
Временное сопротивление разрыву, МПа	105,44	122,34	139,39	155,05	168,57	179,69
Предел текучести, МПа	96,20	121,25	141,27	157,07	169,34	178,71
Полуугол волоки, °	4	4	4	4	4	4
Полуугол волоки, рад.	0,069813	0,069813	0,069813	0,069813	0,069813	0,069813
Коэффициент трения	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Напряжение волочения, МПа	37,05	51,43	60,62	67,49	71,83	73,30
Коэффициент запаса	2,85	2,38	2,30	2,30	2,35	2,45
Усилие волочения, Н	589,23	646,28	599,98	525,97	442,28	359,80
Скорость волочения, м/с	6,17	7,81	9,92	12,60	15,94	20,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	3,64	5,05	5,95	6,63	7,05	7,20
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	37,92					
Производительность, т/ч	0,94					

Составим сводную таблицу влияния коэффициента трения на расход электрической энергии и на производительность для получения проволоки

диаметром 2,5 мм при различных соотношениях угла волоки и коэффициента трения – таблица 23.

Таблица 23. Влияние полуугла волоки и коэффициента трения на энергетические затраты и производительность для процесса получения проволоки диаметром 2,5 мм при различных соотношениях угла волоки и коэффициента трения

	Полуугол волоки			
	3°		4°	
Коэф. трения	0,03	0,04	0,03	0,04
Расход электрической энергии, кВт/ч	36,70	40,71	34,91	37,92
Производительность т/ч	0,94		0,94	

По данным таблицы 23 можно сделать вывод, что увеличение коэффициента трения приводит к увеличению энергетических затрат. А лучшее сочетание для уменьшения электрической энергии обеспечивается за счет угла волоки 4° и коэффициента трения 0,03. Но так как при угле волоки 4° коэффициент трения будет составлять 0,04, как было сказано выше, то наименьший расход электроэнергии будет при угле волоки 3° и коэффициенте трения 0,03.

Для того чтобы уменьшить коэффициент трения применяют смазочные материалы. При выборе смазочного материала необходимо учесть, что воронкообразная форма волокильного канала и высокие контактные напряжения способствуют интенсивному выдавливанию смазки в направлении обратном волочению, поэтому смазка должна обладать повышенной адгезией, должна обеспечивать высокую износостойкость инструмента и его эффективное охлаждение. Также необходимо учесть, что поверхность сплавов на основе алюминия не должна взаимодействовать со смазкой, чтобы избежать образования оксидной пленки на поверхности изделия. Наиболее близкой к этим свойствам является смазка, содержащая 70- 95% индустриального масла и загуститель - полиизобутилен П-20.

4.4. Влияние скорости волочения

Одним из основных параметров влияющих на энергетические затраты и производительность процесса является скорость волочения. Рассмотрим, какое влияние окажет увеличение скорости на потребляемую мощность для получения проволоки трех размеров, при разных степенях деформации: 1) 5→4,5 ($\varepsilon = 19\%$); 2) 4→3,5 ($\varepsilon = 23\%$); 3) 3,3→2,85 ($\varepsilon = 25\%$) – рисунок 20.

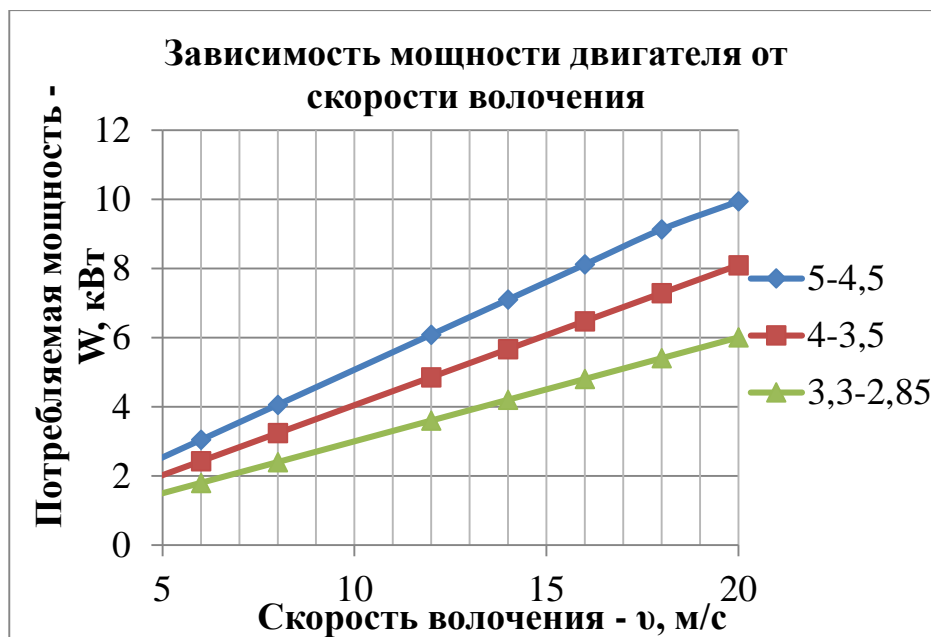


Рисунок 20. Зависимость мощности волочения от скорости

По данным рисунка 20 мы можем сделать вывод, что при увеличении скорости потребляемая мощность двигателя увеличивается. А это приводит к необходимости устанавливать на волочильный стан двигатели с большими мощностями, что приведет к увеличению затрат на закупку оборудования. На современных волочильных станах максимальная скорость на последнем барабане составляет от 20 до 40 м/с.

Определим, как увеличение скорости на последнем барабане повлияет на расход электрической энергии и на производительность процесса получения проволоки диаметром 2,5 мм при скорости волочения 20 м/с – таблица 17; при 30 м/с – таблица 24; при 40 м/с – таблица 25.

Таблица 24. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм со скоростью 30 м/с на последнем барабане

Исходные данные						
Диаметр заготовки, мм	5					
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5					
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24					
Предел текучести, МПа	34,32					
Результаты расчета						
Номер прохода	1	2	3	4	5	6
Маршрут волочения	4,50	4	3,55	3,15	2,8	2,5
Степень единичной деформации, %	19	21	21	21	21	20
Суммарная степень деформации, %	19,00	36,00	49,59	60,31	68,64	75,00
Коэффициент вытяжки	1,23	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25
Суммарная вытяжка	4,00					
Временное сопротивление разрыву, Мпа	105,44	122,34	139,39	155,05	168,57	179,69
Предел текучести, Мпа	96,20	121,25	141,27	157,07	169,34	178,71
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, Мпа	35,76	49,81	58,72	65,39	69,56	70,90
Коэффициент запаса	2,95	2,46	2,37	2,37	2,42	2,53
Усилие волочения, Н	568,73	625,88	581,26	509,58	428,31	348,05
Скорость волочения, м/с	9,26	11,72	14,88	18,90	23,92	30,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	5,27	7,33	8,65	9,63	10,24	10,44
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	36,70					
Производительность, т/ч	1,4					

Таблица 25. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 2,5 мм со скоростью 40 м/с на последнем барабане

Исходные данные						
Диаметр заготовки, мм	5					
Диаметр готовой проволоки, мм	2,5					
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24					
Предел текучести, МПа	34,32					
Результаты расчета						
Номер прохода	1	2	3	4	5	6
Маршрут волочения	4,50	4	3,55	3,15	2,8	2,5
Степень единичной деформации, %	19	21	21	21	21	20
Суммарная степень деформации, %	19,00	36,00	49,59	60,31	68,64	75,00
Коэффициент вытяжки	1,23	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25
Суммарная вытяжка	4,00					
Временное сопротивление разрыву, Мпа	105,44	122,34	139,39	155,05	168,57	179,69
Предел текучести, Мпа	96,20	121,25	141,27	157,07	169,34	178,71
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236	0,05236
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, Мпа	35,76	49,81	58,72	65,39	69,56	70,90
Коэффициент запаса	2,95	2,46	2,37	2,37	2,42	2,53
Усилие волочения, Н	568,73	625,88	581,26	509,58	428,31	348,05
Скорость волочения, м/с	12,35	15,63	19,84	25,20	31,89	40,00
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	7,02	9,78	11,53	12,84	13,66	13,92
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	36,70					
Производительность, т/ч	1,87					

По данным расчетов мы можем сделать вывод, что увеличение скорости приводит к увеличению производительности процесса, а расход электрической энергии не изменяется. Но для волочения на скорости 40 м/с необходимо использовать смазку высокого качества и данная скорость волочения считается достаточно высокой. Поэтому на практике на волочильных станах

процесс волочения осуществляют при скорости 20 м/с, и расчет бизнес-плана следует вести исходя из этого.

Таким образом, были проведены исследования влияния единичной степени деформации, угла волокна, коэффициента трения, скорости волочения на энергосиловые параметры и производительность процесса волочения проволоки. Установлено, что на энергосиловые параметры оказывают влияние степени деформации, угол волок и коэффициент трения.

При увеличении степени деформации, кратность процесса будет незначительно уменьшаться и наименьший расход электрической энергии будет при меньшем маршруте волочения, но также здесь необходимо учитывать максимальное единичное обжатие металла. Для алюминиевой проволоки максимальное единичное обжатие может достигать от 20 до 25%. Тогда наименьший расход электрической энергии будет при единичной степени деформации стремящейся к 25%.

Увеличение угла волокна приводит к уменьшению расхода электрической энергии. Но для того, чтобы правильно оценить расход электрической энергии при изменении угла волокна, необходимо учитывать коэффициент трения. В работе [5] было установлено, что когда полуугол волокна равен 3° коэффициент трения – 0,03; 4° – 0,04, 5° – 0,05. Таким образом, угол волокна и коэффициент трения связаны между собой. Тогда для получения проволоки с меньшим расходом электрической энергии угол волокна должен составлять 4° , а коэффициент трения должен быть равен 0,03. Но так как при угле волокна 4° коэффициент трения будет составлять 0,04, как было сказано выше, то наименьший расход электроэнергии будет при угле волокна 3° и коэффициенте трения 0,03.

Скорость волочения не оказывает влияние на изменение энергосиловых параметров процесса, но при её увеличении приводит к увеличению производительности. При этом степень деформации, угол волокна, коэффициент трения на производительность процесса не влияют.

Изменение скорости волочения может быть от 20 м/с до 40 м/с. Тогда при скорости 40 м/с будет наибольшая производительность процесса. Но для волочения на скорости 40 м/с необходимо использовать смазку высокого качества и данная скорость волочения считается достаточно высокой. Поэтому на практике на волочильных станах процесс волочения осуществляют при скорости 20 м/с.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что рассчитанные нами маршруты волочения при степени деформации, стремящейся к 25%, при этом полуугол волокни составляет 3° , коэффициенте трения 0,03 и скорость волочения равна 20 м/с будут иметь наименьший расход электрической энергии и высокую производительность процесса, что является ресурсосберегающей технологией изготовления алюминиевой сварочной проволоки.

5. ОФОРМЛЕНИЕ БИЗНЕС ПРОЕКТА ДЛЯ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

5.1. Выбор количества оборудования и его расположение

Современный металлургический завод представляет собой комплекс цехов, характеризующихся большим объёмом капитальных вложений на их строительство. Состояние мирового рынка на сегодняшний день не требует строительства большого числа металлургических заводов с полным циклом – комбинатов, так как их количество уже существенно велико. Поэтому целесообразно проектировать малые предприятия.

Для оформления бизнес проекта малого предприятия важно не только определить, что мы хотим производить, на каком оборудовании и в каком количестве. А также важно определиться с количеством необходимого оборудования для этого предприятия.

В данный момент времени наибольшим спросом пользуется сварочная алюминиевая проволока следующих диаметров: 2,5; 2; 1,2; 1 мм.

Для того чтобы получить проволоку диаметром 2,5 мм, нам необходимо взять заготовку диаметром 5 мм и провести волочения за 6 проходов, таблица 17. А для получения проволоки диаметром 1 мм из заготовки диаметром 5 мм мы должны получить полуфабрикат диаметром 2,5 мм, отжечь его и провести процесс волочения еще раз на диаметр 1 мм – таблица 26.

Таблица 26. Результаты расчета маршрута волочения для получения проволоки диаметром 1 мм

Исходные данные	
Диаметр заготовки, мм	2,5
Диаметр готовой проволоки, мм	1
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24
Предел текучести	34,32

Результаты расчета							
Номер прохода	1	2	3	4	5	6	7
Маршрут волочения	2,15	1,85	1,6	1,4	1,25	1,12	1
Степень единичной деформации, %	26,04	25,96	25,20	23,44	20,28	19,72	20,28
Суммарная степень деформации, %	26,04	45,24	59,04	68,64	75,00	79,93	84,00
Коэффициент вытяжки	1,35	1,35	1,34	1,31	1,25	1,25	1,25
Суммарная вытяжка	6,25						
Временное сопротивление разрыву, Мпа	111,84	133,59	153,09	168,57	179,69	188,77	196,59
Предел текучести, Мпа	106,58	134,86	155,20	169,34	178,71	185,97	191,97
Полуугол волоки, °	3	3	3	3	3	3	3
Полуугол волоки, рад.	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, Мпа	54,85	69,18	77,12	77,95	70,90	71,73	76,17
Коэффициент запаса	2,04	1,93	1,99	2,16	2,53	2,63	2,58
Усилие волочения, Н	199,14	185,96	155,06	119,99	87,01	70,67	59,82
Скорость волочения, м/с	4,3	5,8	7,8	10,2	12,8	15,9	20,0
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	0,86	1,09	1,21	1,22	1,11	1,13	1,20
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	52,22						
Производительность, т/ч	0,15						

Таким образом, для получения проволоки диаметром 2,5 и 1 мм, нам необходимо иметь в цехе три волочильные машины.

Определим, сколько тонн готовой продукции мы получим в год.

Исходя, из непрерывного графика работы следует, что номинальный годовой фонд времени работы оборудования, в течение которого оно находится в эксплуатации, независимо от времени простоев и ремонта в год составляет:

$$T_{\text{ном}} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч.} \quad (20)$$

Ремонтные простои составляют 5-8% от номинального годового фонда времени и равны:

$$T_{\text{к.р}} = 0,05 \cdot T_{\text{ном}} = 0,05 \cdot 8760 = 438 \text{ ч.} \quad (21)$$

Планово-предупредительные ремонты равны 3% от номинального годового фонда времени:

$$T_{\text{п.пр}} = 0,03 \cdot T_{\text{ном}} = 0,03 \cdot 8760 = 262,8 \text{ ч.} \quad (22)$$

Текущие простои оборудования обычно составляют 8-13% от номинального времени и равны:

$$T_{\text{т.пр}} = 0,1 \cdot T_{\text{ном}} = 0,1 \cdot 8760 = 876 \text{ ч.} \quad (23)$$

Фактическое время, в течение которого на агрегате осуществляется технологический процесс по переработке предметов труда в готовую продукцию:

$$T_{\text{ф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{кюр}} - T_{\text{п.пр}} - T_{\text{т.пр}} = 8760 - 438 - 262,8 - 876 = 7183,2 \text{ ч.} \quad (24)$$

Тогда производительность оборудования мы можем определить:

$$PP_{\text{т/г}} = PP_{\text{т/ч}} \cdot T_{\text{ф}}, \text{ т/г} \quad (25)$$

Расчеты производительности предприятия по выпуску проволоки диаметром 2,5 и 1 мм представлены в таблице 27.

Таблица 27. Производительность предприятия

	Маршрут волочения	
	5→2,5	2,5→1
Фактическое время работы, ч – $T_{\text{ф}}$	7183,2	
Производительность, т/ч – $PP_{\text{т/ч}}$	0,94	0,15
Производительность, т/год – $PP_{\text{т/г}}$	6752	1077

Чтобы получить промежуточный диаметр 2,5 мм для получения проволоки диаметром 1 мм поставим семикратный волочильный стан, на котором мы сможем получить проволоку диаметр 2 мм по маршруту: 5→4,35→3,8→3,3→2,9→2,5→2,24→2 – таблица 28. Таким образом, данный волочильный стан позволит нам получать проволоку диаметром 2 мм и полуфабрикаты других диаметров для расширения производства.

Таблица 28. Результаты расчета маршрута волочения для получения полуфабрикатов разных диаметров или готовой проволоки диаметром 1 мм

Исходные данные							
Диаметр заготовки, мм	5						
Диаметр готовой проволоки, мм	2						
Временное сопротивление разрыву заготовки, МПа	89,24						
Предел текучести	34,32						
Результаты расчета							
Номер прохода	1	2	3	4	5	6	7
Маршрут волочения	4,35	3,8	3,3	2,9	2,5	2,24	2
Степень единичной деформации, %	24,31	23,69	24,58	22,77	25,68	19,72	20,28
Суммарная степень деформации, %	24,31	42,24	56,44	66,36	75,00	79,93	84,00
Коэффициент вытяжки	1,32	1,31	1,33	1,29	1,35	1,25	1,25
Суммарная вытяжка	6,25						
Временное сопротивление разрыву, Мпа	110,19	129,7	149,17	164,75	179,69	188,77	196,59
Предел текучести, Мпа	104,03	130,4	151,37	165,98	178,71	185,97	191,97
Полуугол волокна, °	3	3	3	3	3	3	3
Полуугол волокна, рад.	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524	0,0524
Коэффициент трения	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Напряжение волочения, Мпа	49,76	60,72	73,26	74,14	90,63	71,73	76,17
Коэффициент запаса	2,21	2,14	2,04	2,22	1,98	2,63	2,58
Усилие волочения, Н	739,49	688,60	626,63	489,74	444,86	282,68	239,28
Скорость волочения, м/с	4,2	5,5	7,3	9,5	12,8	15,9	20,0
Мощность потребляемая электродвигателями, кВт	3,13	3,81	4,60	4,66	5,69	4,51	4,79
Расход электрической энергии на 1 тонну продукции, кВт/ч	52,06						
Производительность, т/ч	0,60						

Обеспечением бесперебойного выполнения технологического процесса изготовления изделий в производстве служат вспомогательные процессы. В производственный процесс входят такие вспомогательные процессы, как складирование заготовок, полуфабрикатов и готовой продукции, доставка их к рабочим позициям, различные виды обработки подготовки, контроль качества, упаковка и отправка.

Таким образом, нам необходимо определиться не только с основным оборудованием, но и определить необходимое количество вспомогательного оборудования.

Первым этапом перед волочением является рекристаллизационный отжиг, если заготовки поставляются в нагартованном виде. Заготовки для алюминиевых сплавов получают методом литья и горячей прокатки, поэтому заготовки перед волочением не требуют предварительного рекристаллизационного отжига. Но при волочении в несколько этапов, нам требуется отжигать полуфабрикат, для снятия наклепа. Таким образом, для получения проволоки диаметром 1 мм, нам потребуется отжечь полуфабрикат диаметром 2,5 мм для последующего волочения. Поэтому в цехе нам необходима одна печь для рекристаллизационного отжига.

Вторым этапом перед волочением является механическая подготовка поверхности для снятия оксидной пленки. Механическая подготовка поверхности происходит на аппаратах механического удаления окалины серии MDC-7L, которые устанавливаются перед волочильной машиной. Для того чтобы заготовку подать в машину механической очистки перед ней устанавливают разматыватель – типа сдвоенная размоточная фигурка модели WRM-3000.

Далее заготовку подают в волочильный стан. После волочильного стана устанавливают аппарат непрерывного съема – модель NSC-400D с механической самодвижущейся вращающейся тележкой для формирования бунтов проволоки в розетки весом до 1200 кг; и намоточный аппарат, для снятия полуфабриката или проволоки. Каждый волочильный стан должен обладать

такой комплектацией. Также в комплектацию станов входит: сварочный аппарат – модель РТ-2 для стыковой сварки катанки с ручной зачисткой сварочного града; сварочный аппарат – модель РТ-1 и РТ0 для стыковой сварки проволоки с ручной зачисткой сварочного града; вальцовочный аппарат – модель РМ-12 и РМ6 для острения катанки и проволоки при заправке волоочильного стана.

При построении технологического процесса в проектируемом цехе и выборе типов волоочильных машин большое значение имеет расчет рациональных переходов, так как это позволяет максимально использовать технические возможности стана. А вероятностный характер протекания производственного процесса изготовления изделий вынуждает создавать складские системы, где протекают технологические процессы хранения заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий. Перемещение полуфабрикатов в пространстве осуществляется транспортной системой, обеспечивающей своевременную доставку их к соответствующему производственному оборудованию.

Заготовки диаметром 5 мм поступают на цеховой склад в бухтах. Склад обеспечивает двухнедельный запас хранения металла. Заготовки поступают на линию волочения, расположенную за отделением термической обработки. Подача металла осуществляется электропогрузчиком непосредственно из склада, где размещают резервный запас заготовок к одной из волоочильных машин, в зависимости от вида проволоки, которую мы хотим получить. Это либо волоочильный стан, на котором мы волочим заготовку по маршруту 5 → 2,5 мм (таблица 17). Либо на котором производят волочение полуфабриката до диаметра 2,5 мм по-другому маршруту волочения (таблица 27), а затем кран-балкой бухты подают в оборудование для термообработки. После термообработки проволока подается на волоочильную машину для волочения проволоки до диаметра 1 мм.

Готовую проволоку электропогрузчиком отправляют на склад готовой продукции, где контролируют и складывают. Контроль готовой продукции производится на специально оборудованном участке ОТК. Контролируют

качество поверхности, и геометрические размеры готовой проволоки; для контроля механических свойств отбирают пробы от каждой партии и передают на контрольно-испытательную станцию цеха.

С участка контроля продукция поступает на линию сортировки и упаковки.

На рисунке 19 представлен эскиз плана участка по производству сварочной алюминиевой проволоки.

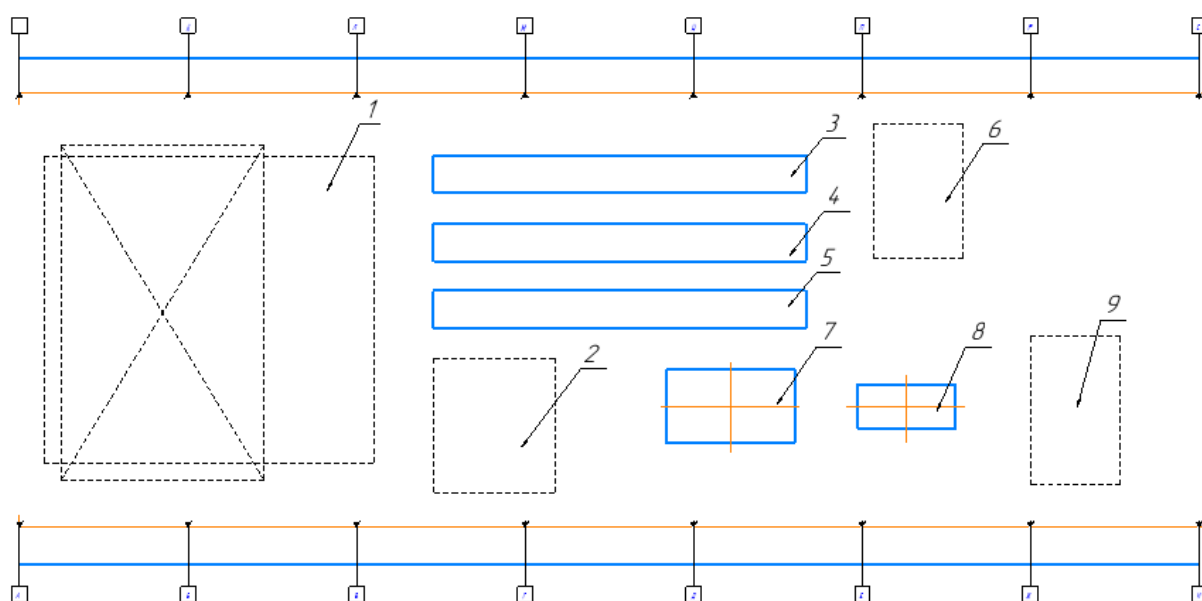


Рисунок 19. Эскиз плана участка по производству сварочной алюминиевой проволоки: 1 – склад заготовок; 2 – участок термообработки; 3 – линия волочения проволоки диаметром 2,5; 4 – линия волочения для получения полуфабриката диаметром 2,5 мм; 5 – линия волочения проволоки диаметром 1 мм; 6 – склад полуфабрикатов; 7 – участок ОТК; 8 – агрегат для упаковки; 9 – склад готовой продукции.

5.2. Определение рентабельности производства

Оценить рентабельность производства мы можем исходя из затрат на закупку заготовки для получения проволоки и ценой на готовую продукцию.

Заготовка для получения алюминиевой сварочной проволоки имеет стоимость от 120 до 180 рублей за килограмм на рынке. Затраты на заготовку будем рассчитывать исходя из большей стоимости – 180 рублей за кг. Тогда затраты на заготовку можно найти по следующей формуле:

$$ЗТ_{\text{заг}} = ПР_{\text{т/г}} \cdot Ц_{\text{н}_{\text{заг}}} \cdot \quad (26)$$

Рыночная цена проволоки диаметром 2,5 мм из сплава СвА5 лежит в пределах от 250 до 350 рублей. А цена проволоки диаметром 1 мм от 280 до 350 рублей. Для определения цены возьмем среднее значение этих пределов. Тогда цена проволоки диаметром 2,5 мм составив 300 рублей, а цена проволоки диаметром 1 мм – 315 рублей. Тогда выручку с готовой продукции можно определить по формуле:

$$\text{Выр} = Ц_{\text{н}_{\text{пров}}} \cdot Пр_{\text{т/г}} \cdot \quad (27)$$

Определим затраты на закупку заготовки для получения проволоки диаметром 2,5 и 1 мм, и определим какую выручку мы получим за год производства данной проволоки – таблица 29.

Таблица 29. Выручка и затраты на производство проволоки

Наименование	Маршрут волочения			
	5→2,5		2,5→1	
	Диаметр заготовки	Диаметр готовой проволоки	Диаметр заготовки	Диаметр готовой проволоки
	5	2,5	5	1
Производительность, т/год	6752		1077	
Цена, руб/кг.	180	300	180	315
Цена, руб/т	180000	300000	180000	315000
Затраты/Выручка, млн.руб.	1215	2025	193,86	339,26
Итого затрат, млн.руб.	1408,86			
Итого выручка, млн.руб.	2364,26			

По данным расчетов таблицы 29 мы можем сделать вывод, что разница между затратами и выручкой составит 955,4 миллиона рублей.

Но необходимо помнить, что рыночная цена готовой продукции складывается не только из цены на заготовку, но и учитываются прочие затраты,

такие как: заработная плата рабочих, амортизация оборудования, аренда помещения и др. Таким образом, чтобы предприятие не работало в убыток необходимо распределить затраты так, чтобы выручка с готовой продукции была больше, чем затраты.

5.3. Расчет фонда заработной платы

На малом предприятии будет организован 12-ти часовой, 4-х бригадный, 2-х сменный график работы. В одной бригаде должны работать пять человек: 1 – контролер; 1 – термист; 3 – волочильщика. При этом контролер работает в одну смену по 12 часов (в день).

По этому графику рабочий отработывает 12 часов без регламентированного перерыва. В праздничные дни отделение работает. Выходные дни предоставляются согласно графику.

Фонд заработной платы рассчитываем при условии выполнения плана производства на 100% и выполнения качественных плановых показателей.

Организация заработной платы основывается на следующих общих принципах: оплата труда осуществляется в зависимости от сложности и ответственности выполняемой работы, уровня общих и специальных знаний работника, значимости его профессии, занимаемой им должности, степени самостоятельности и ответственности при выполнении поставленных перед ним задач.

В основу сдельной формы заработной платы положен принцип оплаты труда за каждую единицу выполненной работы или изготовленной продукции, таким образом, между заработком рабочего и его выработкой создается непосредственная связь. Повременно-премиальная система оплаты труда распространяется на рабочих непосредственно не занятых в основном производстве и выполняющих вспомогательную функцию. Окладная система оплаты труда применяется для вспомогательных рабочих, так как выполненная ими работа не требует специального учета.

Премирование осуществляется при достижении определенных произ-

водственных показателей, что обеспечивает непосредственную связь премиальных выплат с результатами трудовой деятельности предприятия.

Рассчитаем среднемесячную зарплату волочильщика, работающего по четырехбригадному графику работы в две смены, при условиях выполнения норм выработки в объеме 100%; система оплаты труда сдельно-премиальная; продолжительность смены 12 часов; уровень производственной премии 50%.

Фонд рабочего времени:

$$\tau_{\text{мес}} = \frac{365 \cdot C_{\text{сут}} \cdot \tau_{\text{см}}}{12 \cdot \delta}, \quad (28)$$

где $C_{\text{сут}}$ - количество смен в сутках согласно графику работы;

$\tau_{\text{см}}$ - продолжительность одной смены;

δ - количество бригад.

$$\tau_{\text{мес}} = \frac{365 \cdot 2 \cdot 12}{12 \cdot 4} = 182,5 \text{ чел. час.} \quad (29)$$

Работа в праздничные дни:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{пр}} \cdot C_{\text{сут}} \cdot \tau_{\text{см}}}{12 \cdot \delta} = \frac{11 \cdot 2 \cdot 12}{12 \cdot 4} = 5 \text{ чел. час.} \quad (30)$$

где $n_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году, равное 10.

Переработка по графику:

$$\Delta\tau_{\text{гр}} = \tau_{\text{мес}} - \tau_{\text{пр}}, \quad (31)$$

где $\tau_{\text{норм}}^{\text{год}}$ – годовая норма рабочего времени

где $\Delta\tau_{\text{мес}}$ – общая переработка в среднем за месяц, приходящаяся на одного работника, рассчитываемая по формуле:

$$\Delta\tau_{\text{мес}} = \tau_{\text{мес}} - \frac{\tau_{\text{норм}}^{\text{год}}}{12}, \quad (32)$$

где $\tau_{\text{норм}}^{\text{год}}$ -годовая норма рабочего времени

$$\Delta\tau_{\text{мес}} = 182,5 - \frac{2040}{12} = 12,5 \text{ чел. час} \quad (33)$$

$$\Delta\tau_{\text{гр}} = 12,5 - 5 = 7,5 \text{ чел. час}$$

Работа в ночное время равна работе в вечернее время:

$$\tau_{\text{ноч}} = \tau_{\text{веч}} = \frac{1}{3} \tau_{\text{мес}} \quad (34)$$

Тогда

$$t_{\text{ноч}} = t_{\text{веч}} = \frac{1}{3} \cdot 182,5 = 60,83 \text{ чел. час} \quad (35)$$

Заработная плата по тарифу на одного рабочего:

$$\text{ЗП}_{\text{тар}} = t_{\text{ч}} \cdot \tau_{\text{мес}} = 130 \cdot 182,5 = 23725 \text{ руб/мес}, \quad (36)$$

где $t_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка работника равная 130 руб/час.

Сдельный приработок:

$$\text{ЗП}_{\text{сд}} = \text{ЗП}_{\text{тар}} \cdot \frac{N_{\text{выр}}^{\text{пл}} - 100}{100} = 23725 \cdot \frac{100 - 100}{100} = 0 \text{ руб / мес}, \quad (37)$$

где $N_{\text{выр}}^{\text{пл}}$ -планируемое выполнение норм выработки, %.

Премия определяется согласно действующему положению о премировании. Для волочильщика премия составляет 30 % и определяется как:

$$\text{ЗП}_{\text{прем}} = (\text{ЗП}_{\text{тар}} + \text{ЗП}_{\text{сдел}}) \cdot \frac{P_{\text{пр}}}{100} = 7117 \text{ руб / мес}, \quad (38)$$

где $P_{\text{пр}}$ – размер премии, равный 30 %.

Доплата за работу в праздничные дни:

$$\Delta\text{ЗП}_{\text{празд}} = t_{\text{час}} \cdot \left(\frac{N_{\text{выр}}^{\text{пл}}}{100}\right) \cdot n_{\text{празд}} = 130 \cdot \left(\frac{100}{100}\right) \cdot 10 = 1300 \text{ руб / мес}. \quad (39)$$

Доплата за переработку по графику:

$$\Delta ЗП_{\text{пер.пограф.}} = \frac{K_{\text{гр}}}{100} \cdot t_{\text{час}} \cdot \Delta \tau_{\text{гр}} = \left(\frac{37,5}{100} \right) \cdot 130 \cdot 7,5 = 365,63 \text{руб / мес}, \quad (40)$$

где $K_{\text{гр}}$ – коэффициент, учитывающий размер доплаты за переработку по графику, равный 37,5%.

Доплата за работу в ночное время:

$$\Delta ЗП_{\text{ноч}} = \frac{K_{\text{ноч}}}{100} \cdot t_{\text{час}} \cdot \tau_{\text{ноч}} = \left(\frac{20}{100} \right) \cdot 130 \cdot 60,83 = 1581,58 \text{руб / мес}, \quad (41)$$

где $K_{\text{ноч}}$ – коэффициент, учитывающий размер доплаты за работу в ночное время равный 20%.

Доплата за уральский коэффициент составляет 15%:

$$\Delta ЗП_{\text{урал}} = 0,15 \cdot (ЗП_{\text{тар}} + ЗП_{\text{сд}} + ЗП_{\text{прем}} + \Delta ЗП_{\text{празд}} + \Delta ЗП_{\text{пер.пограф}} + \Delta ЗП_{\text{ноч}}), \quad (42)$$

$$\Delta ЗП_{\text{р}} = 5113,46 \text{руб / мес}.$$

Итого заработная плата одного волочильщика за один месяц составляет:

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{тар}} + ЗП_{\text{сд}} + ЗП_{\text{прем}} + \Delta ЗП_{\text{празд}} + \Delta ЗП_{\text{пер.пограф}} + \Delta ЗП_{\text{ноч}} + \Delta ЗП_{\text{урал}} \quad (43)$$

$$ЗП_{\text{осн}} = 39203,17 \text{руб / мес}.$$

– Фонд основной заработной платы одного волочильщика составляет:

$$39203,17 \cdot 12 = 470438 \text{рублей}.$$

– Фонд дополнительной заработной платы одного волочильщика (при длительности отпуска 28 дней) составляет 20% от основной, т.е. 94087,6.

– Всего годовой фонд заработной платы одного рабочего составляет:

$$470438 + 94087,6 = 564526 \text{рублей}.$$

Также необходимо учесть налоги с зарплаты:

– Подоходный налог 13%. Его взимает работодатель с зарплаты сотрудника и перечисляет в бюджет как налоговый агент.

– Страховые взносы. Их уплачивают все работодатели, начисляя эти платежи на доходы, получаемые сотрудниками.

Общая сумма налогов, которые выплачивает работодатель, составляет 35% от заработной платы работника.

Расчет фонда заработной платы рабочих малого предприятия представлен в таблице 30.

Таблица 30. Расчет фонда заработной платы рабочих

Наименование профессии	Термист	Контролер	Волочильщик	
Продолжительность рабочей смены, ч.	12	12	12	
Система оплаты труда	Окладно-премиальная	Окладно-премиальная	Сдельно-премиальная	
Тарифная сетка/оклад, руб/ч – руб/мес	Оклад 17000	Оклад 15000	Тариф 130	
Выполнение норм выработки, %	100	100	100	
Фонд рабочего времени, чел.час/мес	182,5	182,5	182,5	
Работа в праздничные дни	5	5	5	
Переработка по графику	7,5	7,5	7,5	
Работа в ночное время	60,83	–	60,83	
Заработная плата, руб.	Тарифная	–	–	23725
	Сдельная (100% выработки)	–	–	0
	Премии	30% 5100	30% 4500	30% 7115,5
	Особые условия труда (вредность) 25% от тарифа/оклада в мес.	4250	–	–
	Доплата за работу в праздничные дни	944	833	1300
	Доплата за переработку по графику	265,5	234,4	365,63
	Доплата за работу в ночное время, 20%	1150	–	1581,58
	Уральский коэффициент, 15%	4306	3085	5113,46
Месячная ЗП одного рабочего, руб.	33015	23652,4	39203,17	
Подоходный налог, 13%	4291,95	3074,8	5095,4	
Месячная ЗП одного рабочего с вычетом налога, руб	28723,05	20577,6	34107,77	
Основной фонд ЗП одного рабочего, руб/г	396180	283828,8	470438,04	

Дополнительный фонд заработной платы – 20%, руб.	79236	56765,76	94087,6
Годовой фонд зарплаты одного рабочего, руб.	475416	340594	564525
Количество работающих	4	2	12
Итого годовой фонд зарплаты всех работников, руб.	9357152		
Налоги с ЗП 22%, руб	2058573,44		
Итого расходы на ЗП, руб	11415725,5		

5.4. Определение капитальных затрат

Расчет суммы капитальных вложений осуществляется путем составления сметы затрат. К капитальным затратам относятся затраты на покупку оборудования, транспортные расходы.

Схема капитальных затрат представлена в таблице 31.

Таблица 31. Капитальные затраты

Наименование затрат	Количество единиц	Цена за единицу, тыс.руб.	Сумма затрат, тыс.руб	Норма амортизации, %	Амортизационные отчисления, тыс.руб
Аренда зданий за 1 месяц	год	150	1800	–	–
Оборудование:					
Камерная печь	1	2000	2000	20	400
Волоочильный стан	3	10000	30000		2000
Размоточное устройство	3	500	1500		300
Аппарат непрерывного съема	3	500	1500		300
Намоточное устройство	3	500	1500		300
Кран-балка	1	300	300		60
Погрузчик	1	1500	1500		300
Итого затраты на оборудование, млн. руб.		38,3			3,66
Транспортные расходы (3,3%), млн.руб.		1,3		0,12	
Затраты на монтаж (30%)		11,5		1,1	
Неучтенные затраты (15%)		5,745		0,55	
ИТОГО, млн.руб.		56,85		5,43	
Итого общие затраты, млн.руб			62,28		

В комплект волочильного оборудования входит: волочильный стан, окалинломатель, узел очистки от окалины, сварочный и вальцовочный аппарат. Поэтому их стоимость учтена в стоимость волочильного стана.

Амортизацию можно определить следующим образом:

$$A = \Phi_{\text{п}} \cdot H_{\text{А}}, \text{ тыс.руб.} \quad (44)$$

где $\Phi_{\text{п}}$ – начальная стоимость оборудования, руб;

$H_{\text{А}}$ – норма амортизации, %.

$$H_{\text{А}} = \frac{100\%}{\text{СПИ}}, \% \quad (45)$$

где СПИ – срок полезного использования.

Для оборудования срок полезного использования составляет 5 лет.

Транспортные расходы составляют 3,3% от общих затрат на оборудование. Затраты на установку оборудования составляют 30% от общих затрат на оборудование. Неучтённые затраты составляют 15%. В неучтённые затраты входят: затраты на закупку волок, смазки и на обслуживание оборудования.

Неплохим вариантом для обеспечения обслуживания оборудования является – аутсорсинг. Аутсорсинг – передача организацией, на основании договора, определённых видов или функций производственной деятельности другой компании, действующей в нужной области. Система технического обслуживания и ремонтов оборудования требует от предприятия решения комплекса организационных и технических задач, таких как: содержание штата специалистов; наличие и пополнение складов запасных частей и материалов; наличие ремонтной базы для оперативного решения задач ремонтной службы; наличие специализированных приспособлений и инструмента для обеспечения должной эффективности работ. Поэтому применение аутсорсинга способствует решению этих задач, а также минимизирует финансовые вложения. Затраты на аутсорсинг определены в неучтенных затратах – таблица 31.

Также одним из важных затрат является электроэнергия, которая расходуется в процессе производства. Для того, чтобы определить затраты на

электроэнергию, нам нужно определить какое количество электроэнергии будут расходовать волочильные станы за год работы и умножить её на тарифную ставку электроэнергии в регионе. Также неученая электроэнергия на производстве будет составлять 10% от общего потребления станом – таблица 32.

Таблица 32. Затраты на электроэнергию

Диаметр готовой проволоки, мм	2,5	1	
Маршрут волочения	5→2,5 (6 проходов)	5→2,5 (5 проходов)	2,5→1
Фактическое время работы, ч	7183,2		
Расход электрической энергии кВт/ч	36,7	37,56	52,22
Расход электрической энергии за год, кВт	263623,44	263800,9	375106,7
Итого расход волочильных станом за год, кВт	902531,1		
Неучтённое потребление электроэнергии (10%)	90253,1		
Итого потребление электроэнергии, кВт	992784,204		
Тариф электроэнергии, руб/кВт	3,19		
Затраты на электроэнергию, млн.руб.	3,167		

Результаты расчетов затрат и выручки сведем в общую таблицу 33.

Таблица 33. Общие затраты и выручка предприятия

	Затраты на заготовку, млн.руб.	Затраты на ЗП, млн.руб.	Капитальные затраты, млн.руб.	Затраты на электроэнергию, млн.руб	Выручка, млн.руб.
	1408,86	11,5	62,28	3,167	2364,26
ИТОГО	1485,8				2364,26

5.5. Финансовая оценка

Из данных таблицы 31 мы можем определить себестоимость продукции. Для того чтобы изготовить 7829 тонн проволоки в год необходимо затратить 1484,247 миллионов рублей. Тогда себестоимость одной тонны проволоки будет равна:

$$C_T = \frac{1485800000}{7829} = 189781,6 \text{ руб / т.}$$

А себестоимость 1 кг проволоки:

$$C_{\text{кг}} = \frac{189781,6}{1000} = 189,78 \text{ руб/ кг.}$$

Следовательно, чтобы работа предприятия была рентабельна, цена готовой продукции должна быть больше себестоимости.

Определим период окупаемости предприятия:

$$T = \frac{K_{\text{зат}}}{(C_1 - C_2) \cdot Q_{\text{год}}} = \frac{1485,8 \cdot 10^6}{(300000 - 189500) \cdot 7829} = 1,7 \approx 2 \text{ года,} \quad (46)$$

где $K_{\text{затр}}$ – затраты на производство, руб;

C_1 – цена готовой продукции, руб/т;

C_2 – себестоимость продукции, руб/т;

$Q_{\text{год}}$ – объем производства, тонн.

Таким образом, окупаемость предприятия составит 2 года.

Сложностью для открытия любого предприятия является необходимость большого количества денежных вложений. Поэтому для упрощения открытия предприятия используют лизинг.

Лизинг – это наиболее эффективная технология развития бизнеса. Он дает возможность расширения производственной базы предприятия, внедрения передовых технологий в производство, увеличения основных фондов предприятия, приобретения новейшего оборудования, открытие новых предприятий. Лизинг заключается в том, что дает возможность воспользоваться неким ценным имуществом за определенную плату с возможностью последующего выкупа. По сути это та же аренда, однако, по истечении договора

право собственности на объект, как правило, переходит к лизингополучателю. При договоре аренды такого не происходит – объект аренды остается в собственности арендодателя. Таким образом, ежемесячная сумма является одновременно и арендным платежом, и платежом по кредиту (в зависимости от дальнейших намерений пользователя).

Преимущества лизинга:

– Не нужно вносить залог. Само оборудование, транспорт или недвижимость и есть залог того, что вы будете исправно платить лизинговой компании. Иначе арендованное имущество у вас заберут.

– Экономия на налоге на прибыль. С прибыли, то есть разницы между доходами и вашими расходами, взимается налог. Если вы взяли имущество в лизинг, то на налоге вы можете сэкономить. Лизинговые платежи учитываются в бухгалтерских документах как расходы, как и амортизация оборудования, а значит, они уменьшают вашу налогооблагаемую базу.

– Имущество может обойтись дешевле. Лизинговые компании часто покупаются оптом, поэтому могут приобретать нужные нам товары с большими скидками. Благодаря этому мы можем постепенно выкупить у лизинговой компании транспорт или оборудование за меньшую сумму, чем если бы взяли кредит и покупали их сами.

– Не придется думать о доставке и монтаже оборудования. Лизинговая компания может взять на себя все заботы о транспортировке. Если нам необходимо зарубежное оборудование, это сильно экономит усилие на доставку из-за границы, таможенное оформление, регистрацию, доставку до предприятия.

Следовательно, для организации производства наилучшим вариантом открытия, является лизинг, с помощью которого можно уменьшить затраты на оборудование.

Таким образом, бизнес-план по производству алюминиевой сварочной проволоки диаметром 1 и 2,5 мм требует приобретения в лизинг 3 волочильных станков, 3 размоточных устройств, 3 аппаратов непрерывного съема, 3

намоточных устройства, 1 кран-балку, 1 погрузчик. Срок окупаемости проекта 2 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для разработки конкурентоспособной технологии производства сварочной алюминиевой проволоки нами были изучены области ее применения, марки стали из которых она изготавливается, предъявляемые требования к проволоке по ГОСТ 7871 – 2019. Разработаны маршруты волочения для получения сварочной алюминиевой проволоки диаметром 2,5 – 1 мм, а также больших диаметров в соответствии с ГОСТ 7871 – 2019.

В качестве способа получения проволоки выбрано волочение в монолитной волоке. Заготовкой является катанка из алюминиевого сплава СвА5 диаметром 5 мм отвечающая требованиям ГОСТ 7871 –2019. Обоснован выбор катанки диаметром 5 мм, на основе того, что суммарная степень деформации должна составлять от 75 до 85%. Обоснован выбор сплава для получения проволоки на основе универсальности и повышенной стойкости к коррозии, трещинообразованию.

В расчетной части работы приведены расчеты четырех маршрутов волочения для получения проволоки диаметром 2,24; 2; 1,4; 1 мм с учетом повышения равномерности деформации по сечению металла. Разработана ресурсосберегающая технология и проведена оценка её эффективности. Мы получили, что рассчитанные нами маршруты волочения при степени деформации, стремящейся к 25%, при полууголе волоки 3° , коэффициенте трения 0,03 и скорость волочения равной 20 м/с будут иметь равномерную деформацию по сечению, наименьший расход электрической энергии и высокую производительность процесса. Также были разработаны маршруты волочения с учетом ресурсосберегающей технологии для получения проволоки диаметром от 4,5 до 1 мм.

Для производства проволоки был выбран волочильный стан на основе лабораторного волочильный стана ВП-3/400 со следующими характеристиками: максимальная мощность 7 кВт; максимальная скорость волочения – 20 м/с; кратность – семикратный; диаметр барабанов – 400 мм. Также было по-

добрано вспомогательное оборудование. Таким образом, в качестве оборудования для производства алюминиевой сварочной проволоки предлагается использовать 7-ми кратный волочильный стан, для подготовки поверхности к волочению использовать окалиноломатель и устройство для очистки проволоки металлическими щетками, для термической обработки использовать печь камерного типа. В работе приведен возможный вариант компоновки оборудования на участке по производству проволоки.

В работе были определены наиболее востребованные диаметры алюминиевой сварочной проволоки – 2,5; 2; 1,2; 1 мм. Рассмотрена рентабельность открытия предприятия по производству проволоки диаметром 2,5; 1 мм из сплава СвА5. Определены затраты и необходимое количество оборудования на открытие малого предприятия и его окупаемость. Подобран способ открытия малого предприятия с меньшими физическими и денежными затратами, с помощью использования эффективной технологии развития бизнеса – лизинг.

Таким образом, бизнес-план по производству алюминиевой сварочной проволоки диаметром 1 и 2,5 мм требует приобретения в лизинг 3 волочильных стана, 3 размоточных устройства, 3 аппарата непрерывного съема, 3 намоточных устройства, 1 кран-балку, 1 погрузчик. Срок окупаемости проекта составит 2 года. Также проведенная работа рассчитана на возможность расширения малого предприятия с учетом предлагаемой ресурсосберегающей технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 7871 – 2019 «Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов».
2. Красильников Л.А. Волочи́льщик проволоки: Учебн. пособие / Красильников Л.А., Лысенко А.Г. – М.: Металлургия, 1987. – 320 с.
3. Рудской А.И. Волочение: Учебн. пособие / Рудской А.И., Лунев А.В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 126 с.
4. Николаев В.А., Васильев А.Г. Зависимость коэффициента трения от усилия волочения // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2000, № 2. - С.67-69
5. Радионова Л.В. Проектирование ресурсосберегающих технологий производства высокопрочной углеродистой проволоки на основе моделирования / Л.В. Радионова, В.А. Харитонов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – 171 с.
6. Юхвец И.А. Производство высокопрочной проволочной арматуры. - М.: Металлургия, 1973. - 264 с.
7. Параметр формы зоны деформации при волочении проволоки / В.А. Харитонов, Л.В. Радионова, Т.Р. Исмагилов, В.И. Зюзин // Вопросы прикладной химии: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 1999 г. С. 158-164.
8. Соколов И.А. Остаточные напряжения и качество металлопродукции / И.А. Соколов, В.И. Уральский. – М.: Металлургия, 1981. – 96 с.
9. Сильников В.Н., Сильникова Е.Ф. Связь напряженно-деформированного состояния с физико-механическим анализом текстур // Совершенствование технологии производства алюминиевых сплавов и полуфабрикатов. Л. 1986.
10. Фернандес Роландо Отто Серхио Анализ неравномерности деформации в круглых волокнах с целью оптимизации режимов волочения Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Ленинград, 1985.- 20 с.

11. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов. М.: Металлургия, 1964. – 271 с.
12. Патент РФ № 2307866 Смазка для волочения труб из алюминия и его сплавов / Панин В.Г., Заявка № 2004128284/04 от 22.09.2004.
13. Радионова Л.В. Современные волочильные станы: учеб. пособие. – Челябинск: ФГБОУ ВПО “ЮУрГУ”, 2015. – 136 с.
14. Радионова, Л.В. Автоматизированный лабораторный волочильный стан / Л.В. Радионова, Фаизов С.Р., Лисовский Р.А., Лисовская Т.А // Издательство: Радионов Андрей Александрович (Магнитогорск) .–2017.–Том 5.– С.68-73.
15. Галкин А.М. Проектирование цехов обработки цветных металлов и сплавов / Галкин А.М., Винцевич В.А. - М.: Металлургия, 1980. 256 с. 20.
16. Коваль Г.И. Проектирование предприятий и цехов металлургического производства: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – 113 с.