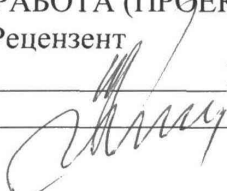


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ) в г. Челябинск
Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением»


РАБОТА (ПРОЕКТ) ПРОВЕРЕНА

Рецензент


_____ Е.А. Шкуратов
_____ 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

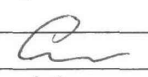
Заведующий кафедрой


_____ В.Г. Шеркунов
_____ 2016 г.

Разработка технологической схемы современного металлургического мини-
завода для производства сортового проката

ПОЯНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ (ПРОЕКТУ)
ЮУрГУ–150400.68.2016.182 ПЗ ВКР

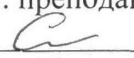
Руководитель проекта
(ст. преподаватель)


_____ М.А. Соседкова
_____ 13 июня 2016 г.

Автор проекта студент группы
МиМТ–213


_____ А.В. Широков
_____ 13 июня 2016 г.

Нормоконтролер
(ст. преподаватель)


_____ М.А. Соседкова
_____ 13 июня 2016 г.

Челябинск 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Южно–Уральский государственный университет» (НИУ) в г. Челябинск
Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением»
Специальность «Машины и технология обработки металлов давлением»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
(В.Г. Шеркунов)
2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу (проект) студента
Широкова Антона Вячеславовича
Группа МиМТ–213

1 Тема работы (проекта)

Разработка технологической схемы современного металлургического мини-завода для производства сортового проката,

утверждена приказом по университету от 15.04. 2016г. № 661
(утверждена распоряжением по факультету от _____ 2016 г. № _____)

2 Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____ 2016 г.

3 Исходные данные к работе (проекту)

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1. Литературный обзор современных металлургических мини-заводов.

4.2. Разработка технологической схемы современного металлургического мини-завода.

4.2.1. Выбор и компоновка основного оборудования.

4.2.2. Описание технологического процесса.

4.2.3. Расчет калибровки валков.

4.2.4. Определение энергосиловых параметров.

4.3. Расчет производительности мини-завода.

4.4. Регулирование в автоматическом режиме процесса перемещения манипулятора клетки 550.

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

5.1. Схема расположения оборудования – 1 А1.

5.2. Плакат с таблицами результатов расчетов параметров прокатки – 1 А1.

5.3. Плакат с графиками расчетов параметров прокатки – 1 А1.

5.4. Чертеж калибровки валков – 1 А1.

5.5. Чертеж дуговой сталеплавильной печи – 1 А1.

5.6. Черновая реверсивная клеть – 2 А1.

Итого 7,0 листов Ф А-1

6 Дата выдачи задания 1 марта 2016

Руководитель  М.А. Соседкова

Задание принял к исполнению  А.В. Широков

АННОТАЦИЯ

Широков Антон Вячеславович. Разработка технологической схемы современного металлургического мини-завода для производства сортового проката. ФГБОУ ВПО ЮУрГУ в г. Челябинск, МиМТ–213. 56 страниц, библиографический список – 16 наименований, 13 рисунков, 13 таблиц, 4 чертежа формата А1, 3 плаката формата А1.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены технологии современных металлургических мини-заводов. Разработана технологическая схема современного металлургического мини-завода. Произведен выбор основного оборудования и его компоновка. Разработана калибровка для прокатки круглого профиля диаметром 14 мм и рассчитаны энергосиловые параметры процесса прокатки. Рассчитана производительность мини-завода.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИНИ-ЗАВОДОВ.....	8
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО МИНИ-ЗАВОДА.....	20
2.1 Выбор и компоновка основного оборудования.....	20
2.2 Описание технологического процесса.....	29
2.3 Расчет калибровки валков.	29
2.4 Расчет температурного режима прокатки.....	38
2.5 Расчет энергосиловых параметров	47
3 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МИНИ-ЗАВОДА	52
4 РЕГУЛИРОВАНИЕ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА КЛЕТИ 550.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нарастающей нестабильности экономики обусловленной затяжным кризисом мировой кредитнофинансовой системы становится затруднительно прогнозировать долгосрочную потребность в тех или иных позициях металлопродукции. С большей уверенностью можно лишь выйти на обобщающее утверждение, что металл как таковой все-таки будет востребован любой экономикой. А раз это так, то появляется потребность, в литейном производстве небольших партий металла и возможности гибко реагировать на запросы изменчивого рынка, в кратчайшие сроки, перестраиваясь на ту или иную металлопродукцию, работая «под заказ» с мелкими потребителями. Решив вопрос «гибкости» производства и получив возможность работы «под заказ» с мелкими потребителями (которых всегда большинство), мы оказываемся в выигрыше против оптовых поставщиков металлопродукции от крупных комбинатов вынужденных тратиться на складское хранение металла.

Задачу гибкости производства эффективно способны решать только металлургические мини-заводы. Так как в основе технологического цикла такого завода может находиться дуговая сталеплавильная печь емкостью плавильного пространства (ванны) от 1,5 т., то, следовательно, теоретически для такого завода рентабельна переработка в металлопродукцию даже 1,5 тонны металлолома. Гибкости такого производства вряд ли можно достичь на существующих металлургических комбинатах, если конечно они также не введут в свою инфраструктуру мини-заводы.

Преимущества мини-заводов в ряде случаев неоспоримо.

Мини-заводы позволяют достичь предельного снижения удельных показателей:

- по капиталоемкости;
- по энергозатратам;
- по расходу материалов на единицу готовой продукции;
- по инфраструктуре и кадрам;

- по срокам ввода в эксплуатацию.

Это становится возможным за счёт модульного принципа построения оборудования и технологического процесса.

Кроме того упрощается размещение предприятия в непосредственной близости к потребителям, что существенно снижает транспортные расходы.

Мини-завод позволяет использовать в качестве основного шихтового материала стальной лом, образующийся непосредственно в регионе расположения предприятия.

Мини-завод обладает:

- компактной планировкой и, соответственно, размещением на ограниченных площадях;
- простотой организационной структуры.

Предпочтительным направлением деятельности металлургического мини-завода является выпуск мелкосортного проката (круга, квадрата, шестигранника с характерным размером до 40 мм), деталепрокатное производство (выпуск шаров, заготовок осей, валов, звёздочек, зубчатых колёс и т. п.), а также производство товарной непрерывнолитой сортовой заготовки.

Мини – металлургические производства можно рекомендовать к применению:

- на машиностроительных предприятиях, имеющих металлургическое производство, для выпуска продукции небольших профилеразмеров;
- на небольших металлургических предприятиях при необходимости организации производства небольших партий мелкосортного проката в короткие сроки;
- при перепрофилировании или реконструкции машиностроительных предприятий;
- при ликвидации или реконструкции крупных металлоёмких сооружений, для переработки металлолома непосредственно на месте производства работ.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИНИ-ЗАВОДОВ

Одним из наиболее важных новшеств металлургии второй половины XX века было внедрение технологии и машин непрерывного литья для получения стальных заготовок (МНЛЗ). Другим существенным достижением металлургии этого периода стало применение дуговых электросталеплавильных печей высокой мощности, специализирующихся на расплавлении твердой шихты. Одновременно совершенствовались процессы, и агрегаты внепечной обработки жидкой стали, применение которых обеспечивает высокую производительность электропечей при относительно малых удельных расходах электроэнергии и электродов.

Именно эти факторы – реализация принципа использования мощных дуговых электропечей в сочетании с внепечной обработкой и применение непрерывной разливки стали – явились решающими предпосылками стремительного развития металлургических мини-заводов в последние десятилетия [1].

В качестве основного шихтового материала на мини-заводах используется стальной лом, что позволяет исключить из технологической цепочки коксовое и аглодомненное производство и в результате в наибольшей степени добиться улучшения экономичности производства.

Естественным шагом в развитии мини-заводов явилось стремление совместить процесс получения непрерывнолитой заготовки с ее прокаткой в едином технологическом процессе [1].

Современное содержание понятия «мини-завод» (mini-mill) включает в себя: относительно небольшие затраты на производство, минимальные выбросы технологических отходов в окружающую среду, минимальные простои оборудования и агрегатов, минимальную продолжительность производственного цикла при максимальной производительности, продажах и рентабельности [3].

Условно мини-заводы с частичным или полным набором технологического оборудования можно разбить на 3 группы:

1. «усеченные» мини-заводы выпускают полупродукт (литую заготовку), не имея прокатного оборудования для производства конечной продукции.

2. «передельные» мини-заводы закупают полупродукт и докатывают его до конечной продукции, то есть у них есть прокатные станы, но нет плавильного и разливочного оборудования. На базе «передельных» мини-заводов создаются металлосервисные центры.

3. мини-заводы, имеющие весь комплект оборудования для переработки сырья в конечную продукцию. На заводе есть плавильное, разливочное и прокатное оборудование. Эта группа заводов наиболее распространена и представляет самый значительный интерес [2].

Основными препятствиями в совмещении технологических процессов литья и прокатки являются:

– несоответствие производительностей машины непрерывного литья заготовок и непрерывного стана;

– несоответствие максимальной скорости литья тонких слябов и требуемой скорости прокатки (скорость вытягивания заготовки 1...5 м/мин, а скорость прокатки в первой клетке станов обычной конструкции 30 м/мин);

– проблема сохранения тепла медленно движущейся полосы [7].

Мини-заводы существуют на мировом и отечественном рынке наравне с крупными металлургическими комбинатами. При этом конкурентоспособность мини-заводов и металлопродукции достигается за счет ряда факторов [3]:

1. Небольшая мощность завода позволяет производить продукцию непосредственно под некрупный заказ. Производство проката небольшими партиями в зависимости от нужд потребителей внутри региона, а также на внешнем рынке позволяет иметь гибкость в определении номенклатуры выпускаемой продукции, обеспечивает возможность быстрого реагирования на требования рынка. На сегодняшний день на ряде мировых рынков требуются поставки металла высокого качества, по низким ценам, малыми партиями и в короткие сроки. Такие требования металлургический завод с полным циклом годовой производительностью от 4...5 млн. т и выше может выполнить с трудом,

так как не полностью загруженные мощности приводят к удорожанию продукции, а избыток произведенной продукции – к трудностям с её реализацией. В этих условиях, чем меньше партия, тем более высокая плата за 1 т продукции (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные технико-экономические показатели работы металлургических мини-заводов и заводов полного цикла

Показатели	Интегрированный завод	Мини-завод
Мощность, тыс.т/год	От 3000 и выше	100...2000
Масса технологического оборудования, т	До 1000000	1000...26800
Удельные капитальные вложения, у.е./т	650...1000	150...300
Окупаемость, год	10...12	1,5...2
Длительность строительства, год	8,0...10,0	1,5...2
Дальность перевозок лома, км	1500	400
Дальность перевозок проката, км	1800	400
Затраты на транспортировку в структуре себестоимости, %	20	1–5
Количество потребителей	20	> 100
Численность работников, тыс. чел.	10...20	0,3...0,6
Выработка товарной продукции на одного работника основной деятельности	15,5...23,3	50,2...65,4
Длительность цикла, суток	5...10	0,5...0,6
Уровень рентабельности, %	7...20	15...22
Вложения в оборудование, обеспечивающее охрану окружающей среды, у.е./т	400...650	70...150
Выпуск проката, тыс. т/год на ед.:		
площади, тыс.т/(год×га)	69...460	18...20
оборудования, тыс.т/(т×год)	120...160	26,1...100
мощности, тыс.т/кВт ×год	6,4...5,8	3,41...5,3
Затраты труда чел.час./т	5,5...7,6	1,5...7,6

2. Небольшие площади, требуемые для размещения оборудования (18...20 га на 1 млн. т выплавляемой стали в год), величина которых примерно в 8...15 раз ниже,

чем для традиционных металлургических комбинатов. Строительство мини-завода не предполагает наличия разветвленной общественной инфраструктуры. Так, доля общезаводского хозяйства в общем объеме капитальных вложений может быть снижена с 60 % (по нормативным и фактическим данным) до 20 %, что подтверждается опытом создания мини-заводов за рубежом, где необходимые услуги выполняют специализированные сторонние организации. Наибольший эффект от строительства может быть достигнут при размещении оборудования на существующих площадях, недостроенных или высвобождающихся в результате перепрофилирования производства.

3. Сравнительно низкая стоимость строительства мини-завода. Удельные капиталовложения на 1 т готовой продукции по разным источникам обычно оцениваются на уровне 150...300 \$ США в сравнении с 650...1000 \$ США для завода с полным циклом.

4. Пониженная энергоемкость производства, выгодно отличающаяся от высокой суммарной энергоёмкости оборудования крупных металлургических комбинатов.

5. Черная металлургия полного цикла относится к числу зрелых отраслей с низкой инвестиционной привлекательностью и характеризуется большой инертностью (цикл «строительство – освоение – производство» нередко превышает десятилетний период). Для стратегических инвесторов данная отрасль не является приоритетным объектом вложения ресурсов, так как капиталовложения омертвляются на длительное время. Относительно небольшая продолжительность проектирования и строительства мини-завода позволяют ориентировать капитальные вложения на минимальный срок окупаемости. Так, сооружение мини-завода и освоение производственных мощностей продолжается всего 1,5...2 года, поэтому они начинают давать прибыль, когда строительство интегрированного завода будет только разворачиваться.

6. Высокие потенциальные возможности в части реконструкции традиционных электросталеплавильных цехов в рамках реализации концепции компактного мини-завода (затраты на модернизацию существующего завода с полным циклом

оцениваются на уровне 100...200 долларов США на 1 т годового производства, а завода с электродуговыми печами только – 50). В новых условиях практически все предприятия изначально отказываются от строительства сталеплавильных цехов на свободной площадке и предпочитают максимально использовать выведенные из эксплуатации существующие здания и оборудование, т.е. ставится вопрос о сведении к минимуму капитальных, энергетических и материальных затрат.

7. Существенное снижение трудозатрат по сравнению с заводами полного цикла. Так, при производстве сортового проката затраты снижаются приблизительно в 2,5...3 раза, а при производстве листового проката – в 5...6 раз.

8. Исключение перевозок сырья на большие расстояния за счет использования металлолома данного экономического региона, потребление значительной части проката (или заготовки) непосредственно в районе его производства позволяет существенно снизить долю транспортных расходов в структуре себестоимости продукции. Такие мини-заводы ориентируют на выпуск проката, в котором нуждаются близлежащие регионы. Это чаще всего арматура для железобетона, катанка, мелкие фасонные профили.

9. Привлечение штатного персонала только в основном производстве.

10. Применение в качестве металлической части шихты металлолома позволяет многократно использовать железо. Как известно, только дуговые печи способны эффективно перерабатывать металлический лом достаточно широкого спектра качества.

11. Достижение минимальной длительности цикла «выплавка – разливка – прокат». Так на комбинатах средняя длительность составляет 5...10 дней, на мини-заводах же она достигает 10...16 ч, а на некоторых и 2,5...3,2 часа.

12. Возможность согласования работы основных технологических агрегатов «электродуговая печь» – «установка внепечной обработки» – «машина непрерывной разливки» в достаточно широком диапазоне годовой мощности (0,04...1,5 млн. т готовой стали в год), т.е. минимизация затрат за счет синхронизации почасовой производительности всех агрегатов.

13. Использование высокопроизводительных механизированных мелкосортных и мелкосортно–проволочных станов с небольшой численностью обслуживающего персонала позволяет при вводе в эксплуатацию единой технологической линии (от плавки стали до выпуска проката) значительно снизить себестоимость продукции.

14. На мини-заводах самая высокая отдача от внедрения комплексных автоматизированных систем управления технологическим процессом, что обеспечивает повышение производительности труда и улучшение качества продукции, в то время как на крупных интегрированных заводах, несмотря на значительные затраты, связать воедино управление всеми технологическими процессами пока не представляется возможным.

15. Более высокий уровень рентабельности.

16. Преимущества мини-заводов по величине удельных капиталовложений становятся ещё более очевидными, если учесть необходимость решения экологических проблем, которые становятся глобальными. Основной вред приносят функционирующие аглофабрики и коксохимические производства, работающие на заводах полного цикла, отсутствие которых, превращает, металлургические мини-заводы в абсолютно безобидные для природы промышленные образования. Загрязнение воздушной среды снижается на 86 %, а водной – на 76 %. В современных условиях на металлургических заводах с полным циклом требуются огромные средства на покрытие издержек на охрану окружающей среды. Часто, затраты на решение этих проблем можно сравнить со строительством нового мини-завода.

Таким образом, конкурентоспособность мини-заводов достигается за счет высокой прибыли на единицу продукции (несмотря на более высокие издержки производства), получаемой благодаря низким удельным капиталовложениям, оптимальному использованию производственного оборудования, гибкости технологической схемы, исключению нерациональных дорогостоящих перевозок и высокой степени автоматизации производственных процессов [3].

В конструктивном плане характерной особенностью современной концепции металлургического мини-завода является широкий перечень новых технологических процессов и агрегатов, впервые освоенных и адаптированных непосредственно для такого рода предприятий, высокая степень их функциональной совместимости между собой в едином технологическом цикле.

Мини-заводы включают (рис.2): оборудование для подготовки стального лома к плавке, электродуговую печь, участок доводки стали (в частности, агрегаты для нагрева, усреднения, дегазации и десульфурации), машину непрерывной разливки, прокатный стан (при этом некоторые составляющие могут отсутствовать) [4,5,6]. Подразумевается наличие вспомогательных производств и служб, а также необходимой инфраструктуры. Таким образом, часть энергоемких переделов, имеющих на интегрированных заводах полного цикла, на металлургических мини-заводах отсутствуют.

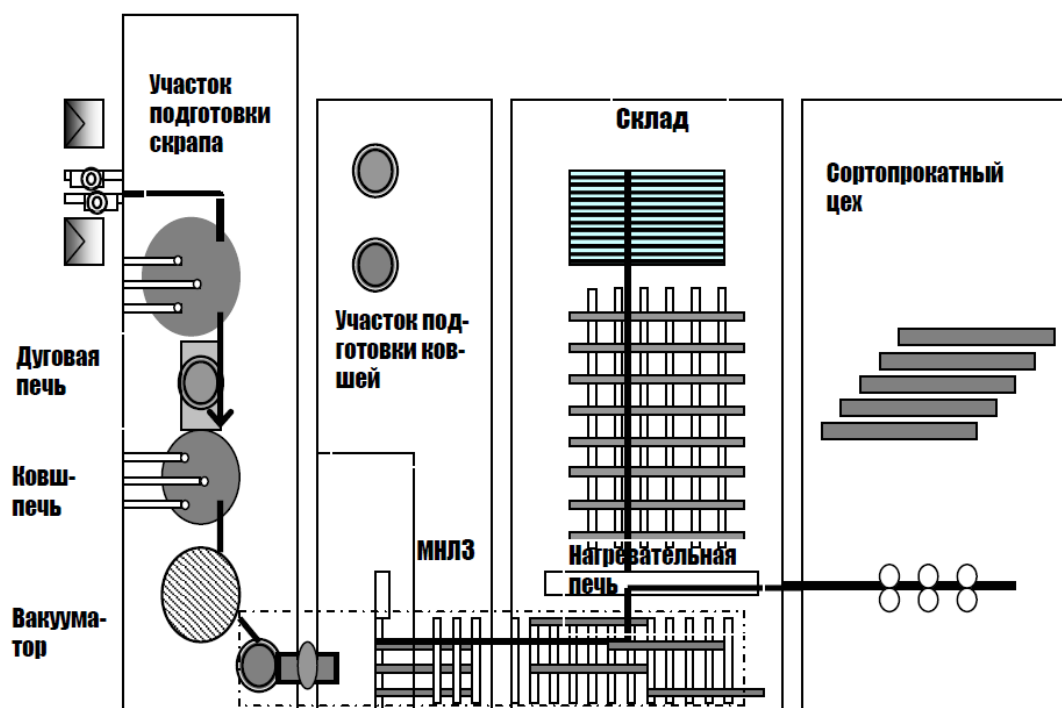


Рисунок 2 – Схема современного металлургического мини-завода для производства сортового проката

На сегодняшний день в мире насчитывается свыше тысячи мини-заводов различной производительности и уровня технологии (табл. 2), которые выплавляют около 15 % мирового производства стали. Достаточно быстро и успешно они развиваются в США, Бразилии, Индии, Испании, Австралии, Мексике, Германии, Китае, Тайване, а также странах СНГ [3].

Таблица 2 – Распространение мини-заводов в мире

Страна	Количество мини-заводов	Суммарная потенциальная мощность мини-заводов тыс. т/год
Аргентина	7	4500
Бразилия	26	8913
СНГ	36	27359
Канада	14	6958
Китай	45	3700
Франция	15	3900
Германия	21	9595
Великобритания	8	3343
Индия	102	12917
Индонезия	16	2810
Италия	32	2420
Тайвань	36	8002
Таиланд	13	4941
Турция	16	6550
США	88	48946
Япония	67	8210
Корея	18	9372
Испания	24	12382
Венесуэла	8	5500
Бельгия	7	5320
Австралия	12	12870
Египет	9	2668
Малайзия	7	4520
Мексика	23	9272
Итого	633	209972

Рассмотрим некоторые современные мини-заводы, которые поставляют Российские производители.

Компактный и экономичный литейно-прокатный агрегат (рис. 3) для производства мелкосортного проката простых профилей (круг, квадрат, шестигранник, арматурная сталь и т.п.). Его прототип успешно эксплуатируется в АО «Электросталь», выпуская катанку из высоколегированных сплавов [8].

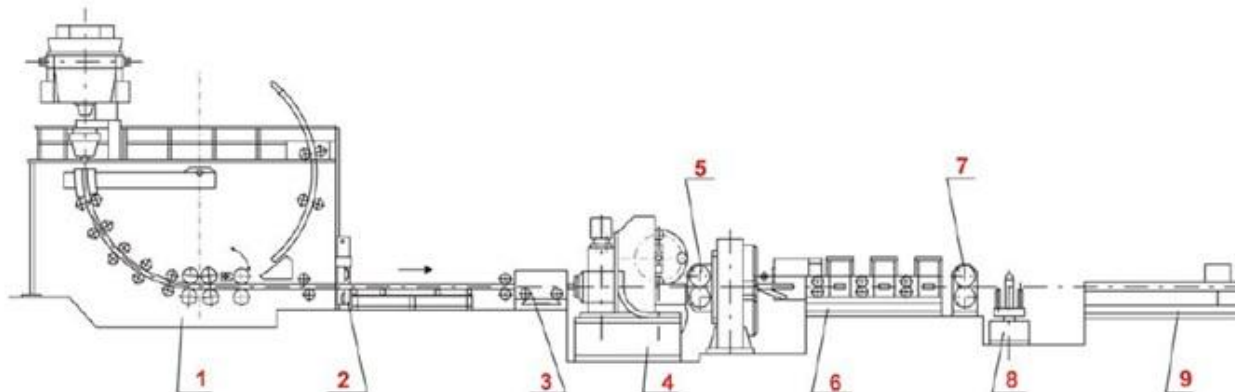


Рисунок 3 – Литейно-прокатный агрегат для мелкого сорта и катанки (с планетарным станом)

1 – одноручьева МНЛЗ; 2 – маятниковые летучие ножницы; 3 – индукционный подогрев; 4 – сортовой планетарный стан; 5 – летучие ножницы; 6 – группа клетей продольной прокатки; 7 – барабанные летучие ножницы; 8 – устройства сматывающие; 9 – устройства для уборки бунтов.

В состав агрегата входят: одноручьева радиальная машина непрерывного литья, устройство выравнивания температуры, сортовой планетарный стан, непрерывная группа клетей, участки термообработки, смотки в бунты или резки на мерные длины. Основные технические характеристики представлены в таблице 3 [8].

Таблица 3– Технические характеристики

Производительность, тыс.т/год	50...70
Размер готового проката (диаметр описанной окружности), м	6...25
Сечение отливаемой заготовки, мм	100 x 100
Суммарная установленная мощность, кВт	2500
Масса оборудования, т	400
Размер (длина x ширина), м	60 x 18 = 1080

Следующий мини-литейно-прокатный агрегат (рис. 4) разработан ВНИИМЕТМАШ'ем для выпуска мелкосортного проката в особо малых объемах

со станом оригинальной конструкции, который может применяться как при создании нового производства, так и для реконструкции старых цехов. Значительный эффект он может обеспечить при оперативном выпуске в малых объемах арматурной стали для производства железобетона или в мелком прокате отдельных предприятий или небольших регионов [8].

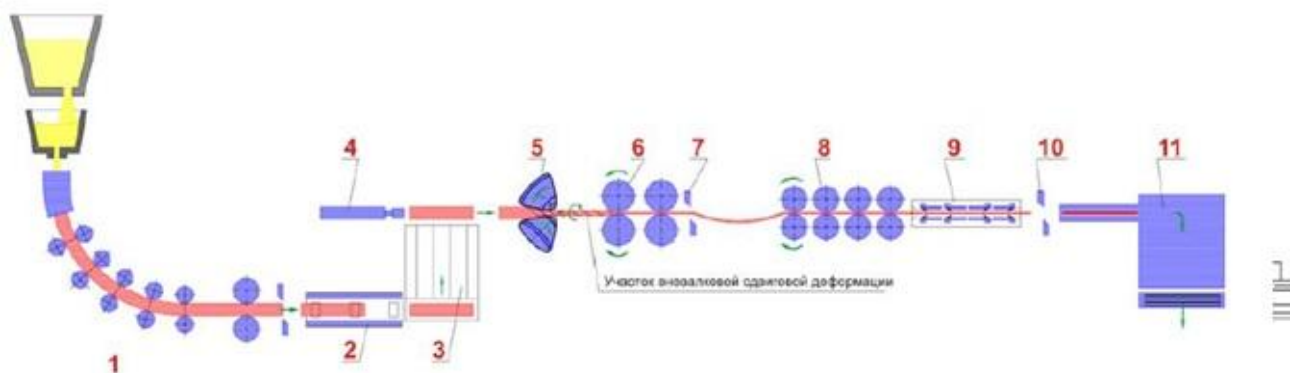


Рисунок 4 – Мини-литейно–прокатный агрегат для мелкого сорта со станом винтовой прокатки

1 – МНЛЗ; 2 – индукционный подогреватель; 3 – загрузочная решетка; 4 – толкатель; 5 – клетка винтовой прокатки; 6 – черновая группа клеток продольной прокатки; 7 – аварийные летучие ножницы; 8 – чистовая группа клеток продольной прокатки; 9 – устройство для термоупрочнения арматуры; 10 – летучие ножницы резки на мерные длины; 11 – устройство для охлаждения и уборки проката.

В качестве заготовок для стана могут использоваться круглые непрерывнолитые заготовки, отливаемые на МНЛЗ агрегата, или привозные, полученные на других сортовых станах.

В основу технологического процесса прокатного стана положена оригинальная разработанная и практически опробованная во ВНИИМЕТМАШ новая, не имеющая аналогов в мире, технология совмещения в непрерывном процессе винтовой и продольной прокатки.

При использовании таких станов деформация в одной клетке винтовой прокатки заменяет деформацию в 4...6 клетках продольной прокатки.

Последовательная непрерывная деформация в клетке винтовой и в клетках продольной прокатки с участком интенсивной вневалковой сдвиговой деформации

по сравнению с традиционной технологией сокращает металлоемкость оборудования на 10...20 % и занимаемую площадь на 7...12 %, обеспечивает снижение энергоемкости и позволяет создать комплекс оборудования, основные удельные показатели которого сопоставимы с показателями высокопроизводительных сортовых станов. Основные показатели стана приведены в таблице 4 [8].

Таблица 4 – Основные показатели агрегата

Масса разливаемой плавки, т	6 (12)
Диаметр разливаемой заготовки, мм	80
Длина заготовки, м	2,5
Сортамент продукции: Арматура класса АI–АIII и термоупрочненная класса АtIII–АtIУ	12...20
Круги, мм	14...20
Длина прутков, м	6...12
Масса пакета, т	До 5
Среднечасовая по годному, т/ч	6,7
Годовая, тыс.т	12 (30)
Масса основного технологического оборудования агрегата, т	330
В т.ч. МНЛЗ	80
Прокатного стана	250
Суммарная установленная мощность электропотребителей агрегата, кВт	2700
В т.ч. МНЛЗ	200
Прокатного стана	2500
Длина агрегата, м	80
В т.ч. прокатного стана	55

Исходя из литературного обзора можно сделать вывод, что металлургические мини-заводы изменили, переформатировали металлургическую отрасль, сделав ее узкоспециализированной и более эффективной. Строительство мини-заводов и ввод новых мощностей привели к усилению конкуренции.

Мини-заводы сфокусировались на том, что производится дешево и не требует высокого качества. Их специализацией является рядовая длинномерная и сортовая продукция. Конкуренция и рынок сбыта продукции — локальные. Вся

деятельность направлена на удешевление продукции. Популярность мини-заводов обусловлена:

- 1) небольшие начальные инвестиции;
- 2) быстрая окупаемость;
- 3) экологичность производства;
- 4) появление локальных растущих рынков.

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО МИНИ-ЗАВОДА

Сортамент выпускаемых профилей мини-завода: круг диаметром 14...20 мм, арматура №№ 14...20.

2.1 Выбор и компоновка основного оборудования

Выберем и скомпонуем необходимое оборудование. В качестве основного оборудования предлагается:

- дуговая сталеплавильная печь
- агрегат Ковш–Печь
- ГМНЛЗ
- проходная нагревательная печь
- клеть Трио
- линейный прокатный стан

Трехфазные, электродуговые печи переменного тока литейного класса, с малой, 0,6...15 т. емкостью ванны предназначены для плавки конструкционных углеродистых, низколегированных, легированных сталей, широкого сортамента чугунов и различных сплавов на основе железа (таблица 5).

Таблица 5 – Технические характеристики дуговой сталеплавильной электропечи малой емкости [9]

Наименование параметра	ДСП – 12
Номинальная масса плавки, т	12
Мощность печного тр-ра, МВА	8 (+20%)
Расч. время расплавления твердой завалки, мин	60
D графитированного электрода, мм	350
Тип выпуска	сливной носок, сифон, донный для ДСП–12

Электродуговые печи данного класса широко применяются в фасонно-литейных и сталеплавильных цехах машиностроительных предприятий, находят широкое применение в составе оборудования мини-заводов для производства непрерывно-литой заготовки и сортового проката с производительностью 100...150 тыс. тонн/год.

Электродуговые печи предназначены для работы с "полным циклом", т. е. для получения расплава с конечным марочным составом в самой печи, и исходя из этого имеют полностью футерованную ванну и свод. Такие электродуговые печи успешно используются в технологической связке с агрегатами внепечной обработки расплава, например, "ковш-печь", для электродуговых печей, емкостью 10...20 тонн.

Основной шихтой для электродуговых печей является стальной скрап и лом чугуна, они могут иметь кислую, либо основную футеровку и работать по одношлаковому, либо двухшлаковому процессу. К неоспоримым достоинствам электродуговых печей данного класса следует отнести: возможность ввода в рабочее пространство высокой удельной мощности и ее регулирования в широком диапазоне; возможность эффективного управления химической активностью шлака для дефосфоризации, десульфурации и раскисления расплава; возможность управления составом атмосферы в рабочем пространстве электродуговой печи с достижением окислительной, восстановительной, или нейтральной среды, невысокий угар металла и лигатур, невысокие требования, предъявляемые к габаритам и составу шихты (рисунок 5).

Преимуществами дуговых электродуговых печей по сравнению с индукционными являются: уменьшение удельного расхода электроэнергии на 15...18% для электродуговых печей переменного тока и на 25...30% для электродуговых печей постоянного тока; увеличение стойкости футеровки в 5...7 раз для электродуговых печей переменного тока и в 15...20 раз для электродуговых печей постоянного тока; возможность включения и отключения дуговой электродуговой печи в любой момент без потери завалки [10].

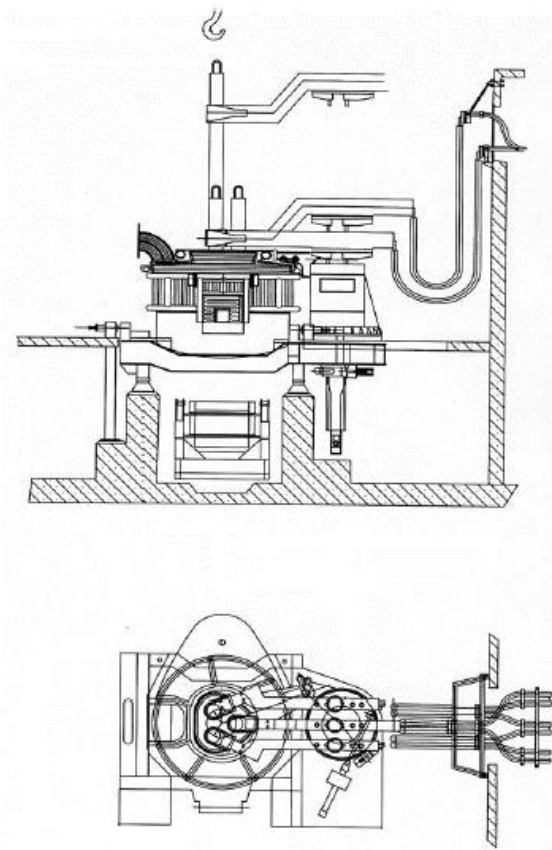


Рисунок 5 – Общая схема дуговой сталеплавильной электропечи

Электродуговые печи оснащаются современными системами автоматизированного управления АСУ ТП, которые обеспечивают: контроль параметров и управление электрическим режимом плавки с учётом технологических факторов; контроль и управление весодозирующим комплексом, системы интенсификации плавки и вспенивания шлака, исполнительных механизмов печи, расчёт количества и управление подачей в печь кислорода и твёрдых окислителей; контроль параметров водоохлаждаемых элементов печи; контроль и управление системой удаления и очистки газов; визуализацию процесса плавки и работы оборудования электропечей [11].

Агрегаты "ковш–печь" (рисунок 6) обеспечивают выполнение технологии рафинирования стали в ковше и позволяют производить электродуговой нагрев расплава со скоростью до 5 °С/мин, выполнять донную продувку расплава аргоном; наведение шлаков заданного состава; введение порошковых и металлических

проволок, лигатур, выполнять замер уровня, температуры и окисленности расплава в ковшах и многое другое (таблица 6).

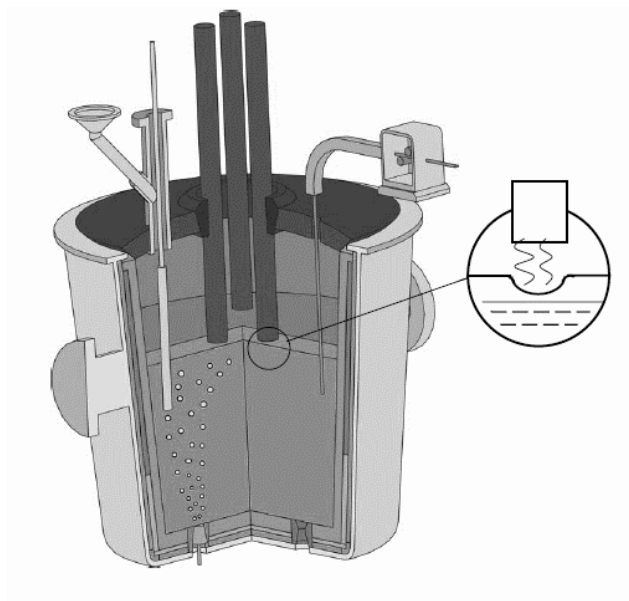


Рисунок 6 – Общая схема установки агрегата «ковш–печь»

Таблица 6 – Технические характеристики агрегата ковш–печь

Наименование параметра	АКП – 12
Номинальная емкость ковша, т	12
Скорость нагрева расплава, °С/мин	3...5
Мощность печного трансформатора, МВА	5
Диаметр графитированного электрода, мм	250
Диаметр распада электродов, мм	500
Цикл обработки ковша, мин	35...40

Современная установка дугового нагрева стали в ковше имеет устоявшуюся архитектуру и конструкцию, которая подобна ДСП и включает следующие основные элементы: печной трансформатор, мощность которого обеспечивает, нагрев стали в ковше; короткую сеть; колонны электрододержателей с приводами перемещения электродов; электрододержатели различного исполнения: с трубошинами или токопроводящие, могут применяться как индивидуально управляемые, так и спаренные (электроды неподвижны один относительно

другого), взаимное расположение токопроводящих элементов электрододержателей выполняется триангулированным или копланарным с петлей симметрии; водоохлаждаемый свод, который имеет отверстия для электродов, газоотсоса и технологические, что приводит к необходимости увеличивать его поверхность за счет изменения формы; наибольшее распространение получила шляпообразная форма свода [10].

Агрегат ковш–печь оснащается такими системами как:

- Система замера уровня металла в ковше, температуры шлака и металла, измерения активности кислорода и взятия проб металла и шлака;
- Система управления газовым режимом для продувки металла аргоном через донную пробку ковша или через верхнюю (аварийную) фурму;
- Механизм (манипулятор) подачи и вертикального перемещения аварийной фурмы;
- Погружные огнеупорные сменные фурмы для обеспечения подачи в металл аргона, либо порошкообразных материалов в струе аргона; контейнер для установки фурм;
- Задатчик–позиционер продувочных фурм (устройство, позволяющее поворачивать установленный на него контейнер с фурмами на определенный угол для взятия с него очередной фурмы и ее установки при помощи механизма подъема, поворота и опускания);
- Трайб–аппарат для автоматической подачи в расплав металлической и порошковых проволок;
- Водоохлаждаемая труботечка, соединенная наклонной труботечкой с конвейером бункерной эстакады, а также с системой весодозирования и ввода в ковш кусковых шлакообразующих, раскислителей и легирующих материалов [11].

ГМНЛЗ вытягивает из кристаллизатора заготовку по прямой траектории под небольшим наклоном к горизонту (порядка 10°). Вытягивание заготовки в практически горизонтальном направлении не требует большой высоты помещения, в котором устанавливается МНЛЗ, что существенно снижает капитальные затраты на ввод МНЛЗ в эксплуатацию. Кроме того, вытягивание заготовки по прямой

траектории исключает ее механическую деформацию, что является актуальным для высококачественных сплавов. Горизонтальное направление технологической оси упрощает монтаж конструктивных узлов МНЛЗ (таблица 7).

Таблица 7 – Технические характеристики горизонтальной машины непрерывного литья заготовок конструкции ООО "СПЕЦМАШ" [12]

Характеристика	Обозначение
	21СМ
Сечение заготовок (круг, квадрат), мм	80...100
Возможная производительность, т/Г	100,0
Число ручьев	2
Масса разливаемой плавки, т	до 12
Средняя скорость литья, м/мин	2,5...4,0,
Установленная эл. мощность, кВА	80
Размеры МНЛЗ, м:	
– высота	1,75
– длина	25,0
– ширина ручья	2x0,5
Масса оборудования, т	70

Блок металлоприёмник–кристаллизатор является основным технологическим узлом машины, предназначен для приема жидкой стали из сталеразливочного ковша, выдержки, подачи в кристаллизатор и начального формирования слитка.

ЗВО занимает участок от выходного торца кристаллизатора до механизма вытягивания заготовок и на МНЛЗ ГТ состоит из неприводной роликовой проводки с горизонтальными и вертикальными роликами, системы водяного, водовоздушного или воздушного охлаждения и устройств электромагнитного перемешивания.

Наибольшее значение вторичное охлаждение имеет при отливке заготовок крупного сечения, когда имеющая небольшую относительную толщину оболочка слитка, испытывает с одной стороны значительные растягивающие напряжения вследствие усадки, с другой – вторичный разогрев от массы жидкого металла. В таких условиях могут возникать как наружные, так и внутренние трещины.

Поэтому крупные заготовки (бюмы и слябы) требуют эффективного водяного или водо–воздушного охлаждения в ЗВО. При отливке же слитков малых сечений применяется уже "мягкое" водо–воздушное или воздушное охлаждение.

Для разделения непрерывно–литой заготовки на мерные длины в настоящее время применяют устройства газовой резки и ножницы.

Устройства газовой резки по сравнению с ножницами обладают такими преимуществами как:

- простота конструкции;
- компактность расположения оборудования;
- простота обслуживания.
- необходимость в устройствах газоочистки.

Промежуточный рольганг применяется для направления непрерывнолитого слитка. Может располагаться как перед устройством порезки заготовок, так и после.

Участок уборки заготовок предназначен для ускоренного удаления отрезанных слитков от устройства порезки заготовок и механизированного их складирования. Состоит из приводного уборочного рольганга и механизма уборки.

Уборочный рольганг имеет групповой электропривод. Вращение всех роликов осуществляется от одного электродвигателя посредством раздаточного вала через червячные редукторы (рисунок 7).

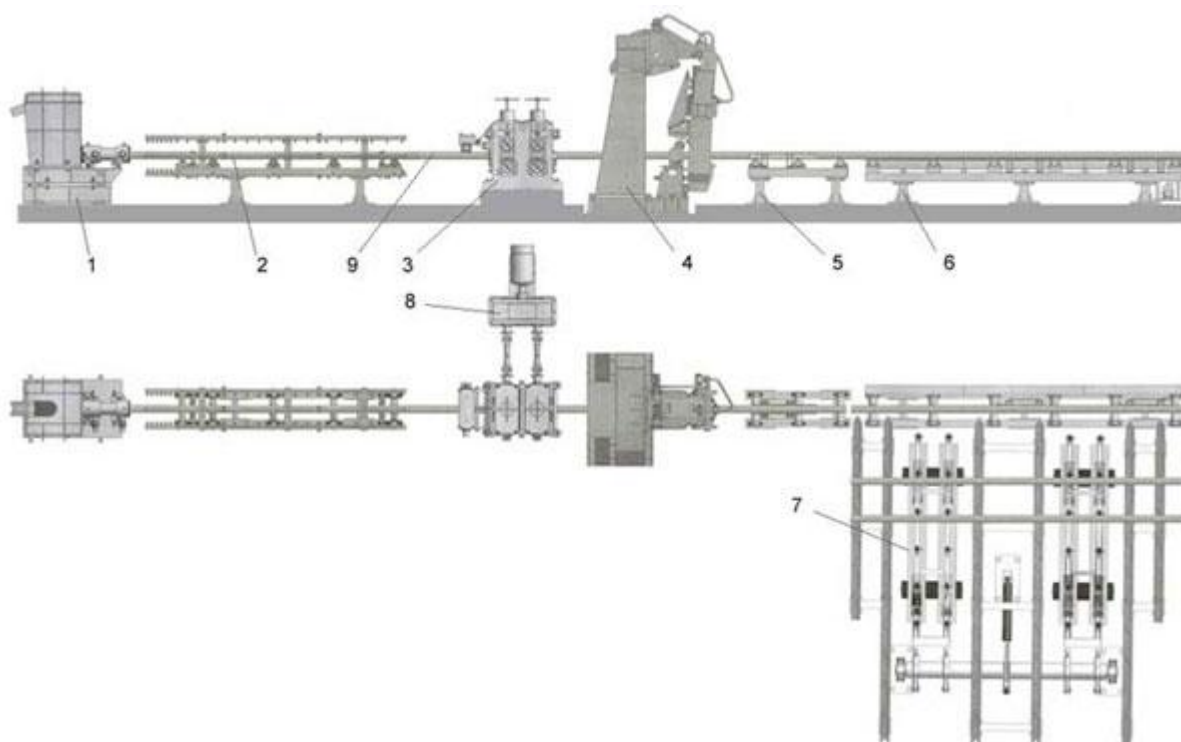


Рисунок 7 – Устройство горизонтальной машины непрерывного литья заготовок
 Горизонтальная машина непрерывного литья заготовок включает в себя: 1 – блок металлоприёмник–кристаллизатор (БМК); 2 – зону вторичного охлаждения (ЗВО); 3 – механизм вытягивания заготовок (МВЗ); 4 – устройство порезки заготовок; 5 – промежуточный рольганг; 6 – приводной рольганг; 7 – механизм уборки заготовок; 8 – редуктор с серводвигателем; 9 – слиток.

Рольганговые печи проходного типа предназначены для нагрева заготовок под отжиг, закалку, для нагрева перед пластической деформацией в непрерывном режиме, в условиях крупносерийного производства (таблица 8).

Таблица 8 – Технические характеристики рольганговой печи проходного типа конструкции МАШПРОМ [5]

Тип заготовок	Тип нагрева	Диапазон возможных температур °С	Допустимые размеры заготовки контейнера, мм			Производительность, т/ч.
			Ширина	Длина	Высота	
Профили	Электрический / газовый	250...1200	50...250	1000...7500	50...250	12

Конструкция рольганговой печи. Рабочее пространство печи имеет форму проходного туннеля, подом которого служат вращающиеся ролики. В зависимости от назначения печи ролики могут иметь индивидуальный или групповой привод. Привода роликов оснащены преобразователями частоты и инкрементными датчиками. Шаг роликов спроектирован с условием устойчивого положения заготовки или контейнера длиной не менее 1000мм. Режим покачивания исключает провисание заготовки и деформацию рабочих роликов.

Теплоизоляция печей выполняется многослойной и состоит из прессованных теплоизоляционных материалов. Для защиты теплоизоляции по боковым сторонам размещены отбойники.

По торцам рабочее пространство печи перекрывают электроприводные двери. Двери перемещаются в вертикальной плоскости, по специальным направляющим.

Рольганговые печи могут поставляться как с электрическим, так и с газовым нагревом. В электрических печах нагреватели размещены между роликами и на своде. При нагреве газом размещение и типы горелок подбираются индивидуально, в зависимости от вида заготовки и термообработки.

Электрические печи имеют газоплотное исполнение с возможностью нагрева в защитных атмосферах. В качестве дополнительных опций могут поставляться генераторы соответствующих атмосфер или загрузочная оснастка.

При нагреве до 700 °С предусматривается принудительная циркуляция печного газа. Длины подводящего и отводящего рольгангов изготавливаются индивидуально под конкретные условия производства.

Печи имеют электронное управление нагревом с визуальной индикацией температуры нагрева, положением дверей с помощью промышленного ПК. Силовое оборудование, управляющее работой нагревателей и приводов, смонтировано в силовых шкафах и пульте управления нагревом.

Печи оснащены необходимыми сигнализациями, блокировками аварийных ситуаций.

Стан состоит из 8 рабочих клеток. Черновая реверсивная клеть дуо 550, предчистовая линейная группа 300, которая состоит из 3 клеток. Непрерывная группа

клетей 300, которая состоит из 4 клеток. Нажимное устройство всех клеток стана винтовое.

2.2 Описание технологического процесса

Технологический процесс начинается с подготовки стального лома и его передача на плавильный участок с применением режущего, сортировочного и подъемно-транспортного оборудования, машин и механизмов шихтового двора. Затем получение качественного расплава стали в электродуговой печи. Доводка и рафинирование стали по химическому составу в агрегате ковш-печь. Далее производится непрерывно-литая заготовка квадратного, либо круглого сечения, с диаметром от 80 до 100 мм в машине непрерывного литья заготовки радиального, типа. Непрерывно-литая заготовка поступает на технологическую линию прокатного стана, где производится нагрев заготовок до температуры 1150 С°. Затем осуществляется прокатка в клетки дуо, в которой заготовку обжимают за 5 проходов до овального сечения размером 59,4 x 22,8 мм. Затем заготовка проходит через три клетки линейного стана и обжимается до ребрового овала размером 21,7 x 27,1. Далее заготовка поступает в непрерывную группу, с получением товарной продукции необходимых размеров для оправки потребителю. В зависимости от требования потребителя продукция сматывается в бунты или режется на мерные длины.

2.3 Расчет калибровки валков.

Рассчитаем калибровку для прокатки круглой стали диаметром 14 мм на металлургическом мини-заводе. Прокатная линия стана состоит из трех групп клеток: реверсивной, трех клеток, расположенных линейно, и трех клеток непрерывной группы. Первые 5 проходов черновые, следующие 3 предчистовые и 4 чистовых. Прокатка ведется в одну нитку. Все клетки работают на подшипниках жидкостного трения и имеют чугунные валки.

Начальные параметры калибровки: конечный профиль – круглая сталь диаметром $d_n = 14 \text{ мм}$ (ГОСТ 2590-88) площадью поперечного сечения

$\omega_n = 153,9 \text{ мм}^2$; исходная заготовка, в горячем состоянии имеет диаметр $d_0 = 80 \text{ мм}$; длину $L_0 = 1000 \text{ мм}$; $\omega_0 = 5026,5 \text{ мм}^2$.

Марка прокатываемой стали 12ХН3А, температура нагрева $t_0 = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$, требования к точности профиля повышенные.

Определим суммарный и средний по стану коэффициенты вытяжки:

;

;

.

где n – число проходов.

;

.

Определим средние коэффициенты вытяжки по группам клетей стана. Для 9-12 клетей чистовой группы средний коэффициент вытяжки примем ниже среднего по стану:

;

$$\lambda_{\text{ср}(9-12)} = 1 + (0,9) \cdot (1,336 - 1) = 1,302$$

Рассчитаем суммарный и средний коэффициент вытяжки для черновых и промежуточных проходов (1-8):

;

$$\lambda_{\Sigma(1-8)} = \frac{32,66}{1,3024^4} = 11,351 ;$$

$$\ln \lambda_{\text{cp}(1-8)} = \frac{\ln 11,351}{12 - 4} = 0,303 ;$$

$$\lambda_{\text{cp}(1-8)} = 1,353 .$$

Учитывая возможные колебания размеров заготовки, примем для первых двух проходов стана значения $\lambda_{\text{cp}(1-2)}$ на 5% ниже $\lambda_{\text{cp}(1-8)}$:

$$\lambda_{\text{cp}(1-2)} = 1 + (0,95) \cdot (1,353 - 1) = 1,335 .$$

С учетом принятого значения $\lambda_{\text{cp}(1-2)}$ уточним средние коэффициенты вытяжки в клетях (3-8):

;

$$\lambda_{\Sigma(3-8)} = \frac{11,351}{1,335^2} = 6,369 ;$$

$$\ln \lambda_{\text{cp}(3-8)} = \frac{\ln 6,369}{8 - 2} = 0,308 ;$$

$$\lambda_{\text{cp}(3-8)} = 1,360 .$$

После определения средних коэффициентов вытяжки по группам клеток стана проверим равенство:

;

;

что меньше найденного выше . Значит коэффициенты вытяжки выбраны корректно, они представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Ориентировочный расчет средних вытяжек и площадей поперечного сечения

Номер клетки		$\omega^2, \text{мм}^2$
0	-	5026,5
1	1,335	3765,17
2	1,335	2820,35
3	1,360	2073,79
4	1,360	1524,84
5	1,360	1121,21
6	1,360	824,42
7	1,360	606,19
8	1,360	445,73
9	1,302	342,34
10	1,302	262,93
11	1,302	201,95
12	1,302	153,9

Определим размеры больших равноосных сечений раската в каждой паре проходов. Для прокатки в 11-й и 12-й клетях из 10-й клетки необходимо получить круг:

$$(\omega_0)_{11} = (\omega_1)_{10} = \lambda_{\Sigma(11-12)} \omega_{12};$$

$$(\omega_0)_{11} = (\omega_1)_{10} = 1,7 \cdot 153,9 = 260,89 \text{ мм}^2.$$

Размеры этого круга рассчитаем по формуле:

Аналогично определены размеры исходного ребрового овального сечения для 9-й и 10-й клеток:

$$(\omega_0)_9 = (\omega_1)_8 = \lambda_{\Sigma(9-10)} \omega_{12},$$

$$(\omega_1)_8 = 1,302 \cdot 260,89 = 442,26 \text{ мм}^2;$$

Определим площадь поперечного сечения большого ребрового овального сечения из клетки 6:

$$(\omega_0)_7 = (\omega_1)_6 = \lambda_{\Sigma(7-8)} \omega_8 ;$$

$$(\omega_0)_7 = (\omega_1)_6 = 1,85 \cdot 442,26 = 818,01 ;$$

Рассчитаем размеры неравноосных раскатов и калибров при прокатке по схеме равноосное сечение-неравноосное сечение-равноосное сечение.

Определим :

Из [15, смотри рисунок Приложение 24] при $A = 20,43$ и $\lambda_{\Sigma} = 1,7$ находим $a = 2,05$ и $\alpha_1 = 14^\circ$.

$$A = 20,43$$

По [15, смотри рисунок Приложение 25] при $a = 1,95$ определяем коэффициенты обжатия и вытяжки в первом против направления прокатки калибре и $\lambda_1 = 1,36$.

Рассчитываем размеры овального раската и калибра:

$$B = 14 \cdot 1,63 = 22,8 \text{ мм}$$

—

Площадь поперечного сечения овального раската:

$$\omega = \omega_1 \lambda_1;$$

$$\omega = 153,9 \cdot 1,36 = 209,3 \text{ мм}^2.$$

Определяем вытяжки и обжатия во втором калибре:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1};$$

$$\lambda_2 = \frac{1,7}{1,36} = 1,25;$$

Аналогично определены остальные параметры проходов. Результаты расчета приведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчета калибровки валков при прокатке круглой стали диаметром 14 мм из заготовки диаметром 80 мм.

№ прохода	Калибр	$\lambda\Sigma$	ω , мм ²	H1, мм	B1, мм	A1	λ	
1	овал	1,78	3665,95	44,7	102,9	7,95	1,36	1,79
2	реб. овал		2798,44	68,2	54,5	4,87	1,31	1,51
3	овал	1,85	2012,29	31,9	78,1	11,54	1,39	1,71
4	реб. овал		1513,00	50,1	40,1	6,98	1,33	1,56
5	овал	1,85	1092,04	22,8	59,4	16,54	1,38	1,76
6	реб. овал		818,01	36,9	29,5	9,85	1,34	1,61
7	овал	1,85	588,20	16,8	43,9	16,86	1,39	1,76
8	реб. овал		442,26	27,1	21,7	10,07	1,33	1,62
9	овал	1,70	357,41	15,0	29,3	19,00	1,24	1,80
10	круг		260,89	18,2	18,2	15,46	1,37	1,61
11	овал	1,70	209,30	11,1	22,8	26,03	1,25	1,64
12	круг		153,90	14,0	14,0	20,43	1,36	1,63

По скольку по технической характеристике холодильника стана скорость прокатки не должна превышать 20 м/с, примем скорость прокатки круглой стали

диаметром 14 мм в 12 проходе 20 м/с. Рассчитаем ориентировочные скорости прокатки в каждой клетки:

$$U_{11} = \frac{U_{12}}{\lambda_{cp12}};$$

$$U_{11} = \frac{20}{1,302} = 15,36 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Определим приближенные значения катающих диаметров валков:

– в 12 проходе

$$D_{к12} = 300 - \sqrt{153,9} = 287,6 \text{ мм.}$$

– в 11 проходе

$$D_{11} = 300 - \sqrt{153,9 \cdot 1,302} = 285,8 \text{ мм.}$$

С учетом найденных значений рассчитаем предельные значения скоростей прокатки, приняв $k_{п} = 0,05$. Для прохода 12:

$$U_{min12} = \frac{\pi \cdot 0,2876 \cdot 125 \cdot (1 + 0,05)}{60} = 1,98 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$U_{max12} = \frac{\pi \cdot 0,2876 \cdot 1875 \cdot (1 - 0,05)}{60} = 26,81 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты ориентировочного расчета скоростного режима прокатки.

№ прохода	$\lambda_{\text{ср}}$	$U_i, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\omega_i, \text{мм}^2$	$r, \text{мм}$	$U_{\text{mini}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$U_{\text{maxi}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$
0		3,07	5026,5			
1	1,335	3,12	3665,95	488,9	0,47	5,83
2	1,335	3,16	2798,44	497,7	0,48	5,94
3	1,36	3,21	2012,29	504,6	0,49	6,02
4	1,36	3,24	1513	511,5	0,50	6,10
5	1,36	2,77	1092,04	516,6	0,50	6,16
6	1,36	3,76	818,01	371,7	1,63	14,19
7	1,36	5,12	588,2	275,5	1,21	10,52
8	1,36	6,96	442,26	278,4	1,53	13,29
9	1,302	9,06	357,41	281,6	1,55	13,44
10	1,302	11,80	260,89	283,5	1,56	13,53
11	1,302	15,36	209,3	285,8	1,57	21,32
12	1,302	20,00	153,9	287,6	1,98	26,81

Ограничения для всех проходов стана выполняются.

2.4 Расчет температурного режима прокатки.

Рассчитаем температуру переднего конца заготовки перед первой клетью, учитывая ее охлаждение за время τ_0 транспортировки от печи до первой клетки стана. Величину τ_0 определим при расстоянии от печи до первой клетки $L_0 = 6,5 \text{ м}$

и окружной скорости роликов печного рольганга $U_0 = 2,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\tau_0 = \frac{6,5}{2,2} = 3 \text{ с}$.

Периметр и площадь сечения заготовки равны:

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot 80 = 251,2$$

$$\omega_0 = 5026,5 \text{ мм}^2$$

Температура нагрева заготовки $t_0 = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$, а перед первым проходом $\Delta t_n = 0$. Найдем понижение температуры за время τ_0 :

$$\Delta t = 1150 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot 251,2 \cdot 3}{5026,5} + \left(\frac{1000}{1150 + 273}\right)^3}} + 273 = 5,19 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Следовательно, температура переднего конца заготовки перед первым проходом составит:

$$t_1 = t_0 - \Delta t;$$

$$t_1 = 1150 - 5,19 = 1144,81 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Рассчитаем температуру переднего конца раската перед второй клетью.
Средняя степень деформации в первой клетке:

$$\varepsilon = \frac{80 - 44,7}{80} = 0,441.$$

Частота вращения валков при скорости прокатки $U_1 = 0,82 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (смотри таблицу 11):

$$n_1 = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot 0,5};$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot 0,82}{\pi \cdot 0,5} = 31,49 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Средняя скорость деформации будет равна:

$$u = 0.105 \cdot 31.49 \cdot \sqrt{\frac{0,441 \cdot 400}{2 \cdot 80}} = 3.47 \frac{1}{\text{с}}.$$

При найденных значениях $\varepsilon = 0,441$; $u = 3.47 \frac{1}{\text{с}}$ и $t_1 = 1144,81 \text{ } ^\circ\text{C}$ для стали 12ХНЗА по справочнику [16, смотри рисунок Приложение 41 и Приложение 42] определяем термомеханические коэффициенты $k_\varepsilon = 1.204$; $k_u = 0.938$ и

$k_t = 0.702$, а по [15, смотри рисунок Приложение 9] базисное значение сопротивления деформации $\sigma_{0,д.} = 98.07 \text{ МПа}$. Рассчитаем сопротивление деформации:

$$\sigma = k_\varepsilon \cdot k_u \cdot k_t \cdot \sigma_{0,д.};$$

$$\sigma = 1,204 \cdot 0,938 \cdot 0,702 \cdot 98,07 = 77,76 \text{ МПа.}$$

Определим приращение при прокатке в 1 клетки:

$$\Delta t_{\text{н}} = 0,183\sigma \ln \lambda_1;$$

$$\Delta t_{\text{н}} = 0,183 \cdot 77,76 \cdot \ln 1,36 = 4,38 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Рассчитаем время охлаждения раската после 1 прохода и до 2, при $L_{\text{к}} = 6,5 \text{ м}$ и $U_1 = 0,82 \frac{\text{м}}{\text{с}}$:

$$\tau_1 = \frac{6,5}{0,82} + 7 = 15 \text{ с.}$$

Периметр поперечного сечения раската в первом проходе (смотри таблицу 12):

$$\Pi = 2\sqrt{102,9^2 + \frac{4}{3}44,7^2} = 230,24 \text{ мм.}$$

С учетом найденных значений τ , Π и Δt_n получим общее изменение температуры переднего конца раската после первого прохода:

$$\Delta t = 1150 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot 230,24 \cdot 15}{3665,95} + \left(\frac{1000}{1144,81 + 5,19 + 273}\right)^3}} + 273 = 18,74 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура раската перед вторым проходом будет равна:

$$t_2 = t_1 - \Delta t;$$

$$t_2 = 1144,81 - 18,74 = 1126,07 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результаты расчета температуры раската (рисунок 9) и сопротивления деформации (рисунок 10) в остальных проходах приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты расчетов температурного режима

№ прохода	Π , мм	t , °C	ψ	σ , МПа
0	251,20	1144,81		
1	230,24	1126,07	0,70	77,77
2	185,60	1112,32	0,72	81,78
3	172,70	1102,31	0,73	100,01
4	136,44	1095,18	0,74	99,96
5	129,95	1090,56	0,75	118,22
6	100,44	1088,01	0,75	117,75
7	95,99	1090,31	0,76	131,96
8	73,82	1092,69	0,75	129,26
9	68,07	1093,97	0,75	135,42
10	57,15	1098,52	0,75	138,59
11	52,31	1101,13	0,74	141,42
12	43,96	1106,89	0,74	150,48

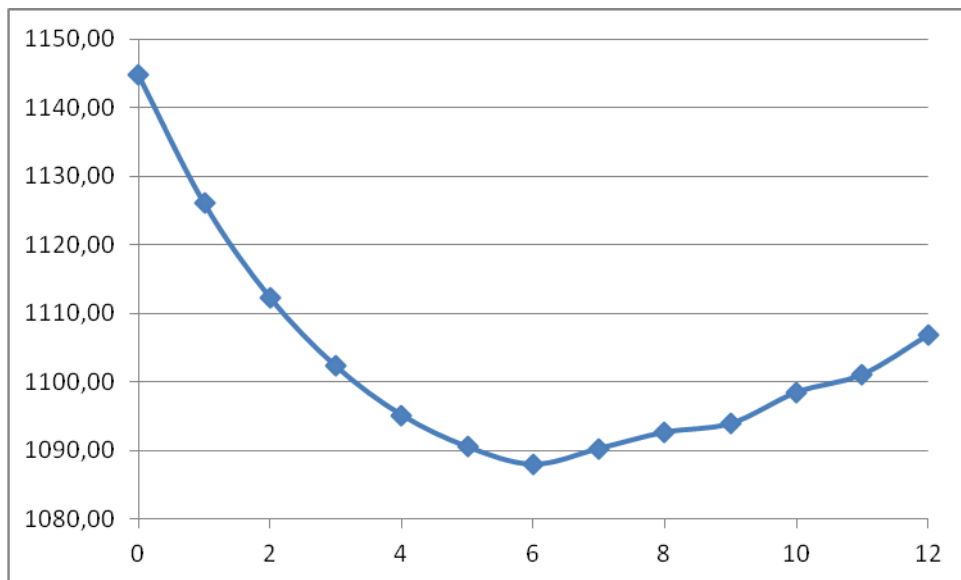


Рисунок 9 – Изменение температуры по проходам

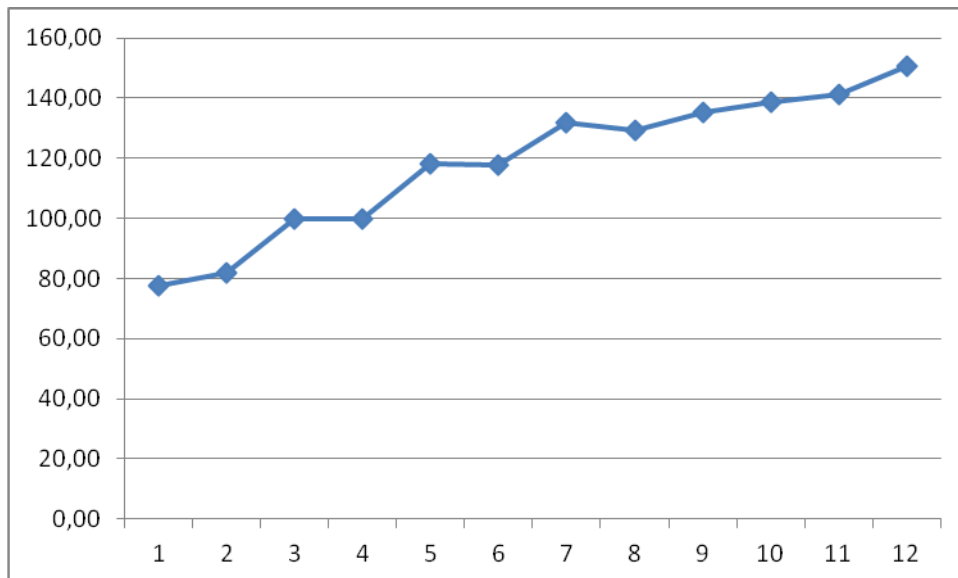


Рисунок 10 – Изменение сопротивления деформации по проходам, МПа

2.5 Расчет энергосиловых параметров

1-й проход. Сопротивление металла пластической деформации $\sigma = 77,77$, показатель трения $\psi = 0,7$ (см. таблицу 12). Безразмерные параметры определены

$$A = 7,95$$

при расчете формоизменения металла

$$; ; a_k = 2,88$$

Определим фактор формы очага деформации:

$$m = 2 \frac{\sqrt{\frac{7,95}{2}(1,79 - 1)}}{1,79 + 1} = 1,27.$$

Рассчитаем коэффициент напряженного состояния при прокатке:

$$n_{\sigma} = 0,9 \left(m + \frac{40,5}{m + 5} - 6,14 \right) \left(\frac{a_k^2 + 1}{a_k^2} \right) (0,63 + 0,37\psi);$$

$$n_{\sigma} = 0,9 \left(1,27 + \frac{40,5}{1,27 + 5} - 6,14 \right) \left(\frac{2,88^2 + 1}{2,88^2} \right) (0,63 + 0,37 \cdot 0,7) = 1,425.$$

Определим контактное давление:

$$p = 1,15 n_{\sigma} \sigma;$$

$$p = 1,15 \cdot 1,425 \cdot 77,77 = 127,46 \text{ МПа.}$$

Рассчитаем контактную площадь:

$$F = H_1^2 \cdot \xi \cdot \sqrt{A \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)};$$

$$F = 44.7^2 \cdot 1.184 \cdot \sqrt{7.95 \cdot (1.79 - 1)} = 5931.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Сила прокатки:

$$P = p \cdot F;$$

$$P = 127.46 \cdot 5931.6 = 756 \text{ кН.}$$

По формуле для схемы прокатки круг-овал рассчитаем коэффициент крутящего момента деформации:

Определим крутящий момент деформации:

Результаты расчетов силы прокатки (рисунок 11) и крутящих моментов (рисунок 12) деформации для других проходов приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов энергосиловых параметров

№ прохода	m	n_{σ}	p, МПа	F, мм ²	P, МН		$M_{вал}, кН \cdot м$
1	1,270	1,425	127,5	5931,66	0,756	0,278	34,96
2	0,888	2,209	207,8	2365,23	0,491	0,143	25,24
3	1,494	1,426	164,1	3637,24	0,597	0,230	28,59
4	1,092	2,212	254,2	1601,22	0,407	0,129	22,65
5	1,817	1,445	196,4	2428,31	0,477	0,176	19,36
6	1,328	2,236	302,8	1076,94	0,326	0,112	18,43
7	1,834	1,450	220,1	1334,58	0,294	0,180	9,17
8	1,349	2,239	332,8	592,11	0,197	0,107	7,98
9	1,969	1,538	239,6	905,03	0,217	0,095	4,48
10	1,664	2,027	323,0	259,65	0,084	0,125	7,16
11	2,186	1,553	252,6	541,05	0,137	0,107	4,01
12	1,929	2,092	362,0	179,49	0,065	0,106	5,25

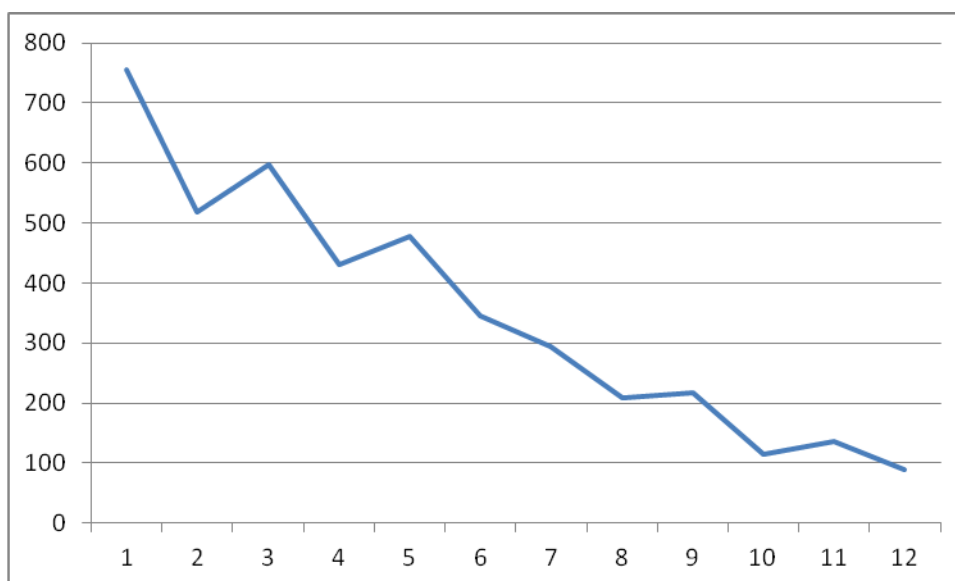


Рисунок 11 – Изменение усилия прокатки по проходам, кН

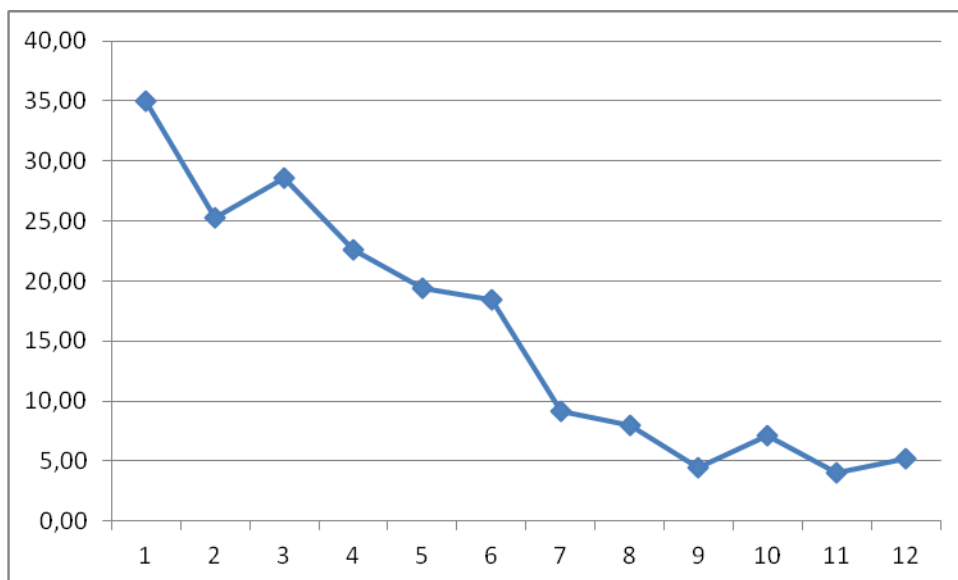


Рисунок 12 – Изменение момента по проходам, кН·м

3 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МИНИ-ЗАВОДА

Часовая производительность предлагаемого прокатного стана по годному определяется по формуле:

где $A_{\text{ЧАС}}$ – часовая производительность, т/час;

3600 – число секунд в одном часе;

m – масса исходного продукта прокатки, т;

K_{II} – коэффициент использования оборудования стана;

T_P – ритм прокатки, с.

Коэффициент использования оборудования стана K_{II} принимается в зависимости от типа прокатного стана:

- для старых станов линейного типа – $K_{II} = 0,8-0,85$;

- для блюмингов, РБС и КСС – $K_{II} = 0,8-0,9$;

- для непрерывных станов – $K_{II} = 0,9-0,95$.

Ритм прокатки – величина, показывающая, через какой период времени в первую клетку стана задается новый раскат или через какой период времени из чистовой клетки выходит готовый профиль.

Цикл прокатки – полное время прокатки одной полосы на стане.

При прокатке в реверсивных станах, все проходы осуществляются в 1 клетку:

где $\sum t_m$ – сумма времени всех проходов;

$\sum t_n$ – сумма времени всех пауз.

Для ориентировочных расчетов производительности можно воспользоваться следующей упрощенной методикой. Для определения $\sum t_m$ воспользуемся средней статистической скоростью прокатки заготовок. Эта величина колеблется в весьма узких пределах и составляет 2,2...3 м/с.:

где L_0 – исходная длина заготовки;

q – общий коэффициент вытяжки;

λ – средний коэффициент вытяжки за один проход;

Для первых пяти проходов общий коэффициент вытяжки будет равен $q=6,77$; средний коэффициент вытяжки за один проход будет равен $\lambda = 1,35$. Примем, тогда сумма времени всех проходов равна:

$$\sum t_m = 5 \cdot 1,35 \cdot \left(\frac{6,77 - 1}{1,35 - 1} \right) / 3 = 37 \text{ сек.}$$

Суммарная величина пауз равна:

где n – число проходов;

– средняя величина пауз между проходами;

– средняя величина паузы между заготовками.

При прокатке заготовок различных размеров величина колеблется в пределах 1,9...3 с. Величина паузы между заготовками в зависимости от калибровки валков, размеров слитков, и скорости подъема нажимных винтов практически составляет 5...8 с. Определим величину пауз при 5 проходах:

$$\sum t_n = (5 - 1) \cdot 1,9 + 5 = 13 \text{ с.}$$

Определим ритм прокатки в реверсивной клетки:

При прокатке в нереверсивных клетях, частота вращения валков которых постоянна, для каждого прохода машинное время можно определять по следующей зависимости:

где l – длина полосы после прохода, м;

v – скорость прокатки, м/с.

После реверсивной клетки заготовка имеет длину $l=30,45$ м, а скорость прокатки в первой клетки непрерывной группы $v=3,76$ м/с. Определяем машинное время:

Время пауз для непрерывных станов примерно равна $T_{\text{п}} = 3 \dots 5$ секунд, тогда ритм прокатки в непрерывной группе будет равен:

$$T = 8,09 + 3 = 11,09 \text{ сек}$$

Так как непрерывная группа прокатывает за 11,09 секунд, а реверсивная клетка за 50 секунд, поэтому принимаем ритм проката для всего стана по реверсивной клетке.

Определяем массу круглой заготовки:

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho,$$

где $\rho = 7,85 \text{ т/м}^3$ – плотность стали.

$$m = 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 5 \cdot 7,85 = 0,197 \text{ т.}$$

Производительность стана по годному равна:

Для определения годовой производительности реверсивного стана необходимо знать фактическое число часов работы его в год. Реверсивные станы почти всегда работают по непрерывному графику, т.е. безвыходных дней. В этом случае нерабочими днями являются дни, предусматриваемые для проведения планово-предупредительных ремонтов (1 день в месяц) и ежегодного капитального ремонта. Благодаря проведению ремонта отдельных агрегатов во время планово-предупредительных ремонтов, на ежегодный капитальный ремонт прокатного участка требуется 4 дня. В год получается 16 нерабочих дней, а рабочих $365 - 16 = 349$ дней.

Стан работает три смены в сутки по 8 часов. Тогда номинальное число часов работы в год равно $349 \cdot 24 = 8376$ ч. Фактическое число часов работы в год будет меньше номинального на величину простоев реверсивного стана,

K_B

учитываемую коэффициентом использования времени и зависящую от типа стана, организации работы на стане и других причин; она колеблется для современных двухвалковых реверсивных станов в пределах 0,92...0,95. В этом случае фактическое число часов работы этого стана в год равно:

$$8376 \cdot 0,95 = 7957,2 \text{ ч.}$$

Годовая производительность будет равна:

$$7957,2 \cdot 12,75 = 101454,3 \text{ тыс. т в год}$$

Годовая производительность 101454,3 тыс. т. в год соответствует металлургическим мини-заводам, производительность которых составляет 100...2000 тыс. т. в год.

4 РЕГУЛИРОВАНИЕ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА КЛЕТИ 550

Для перемещения заготовки между калибрами реверсивной прокатной клетки 550 используем манипулятор.

Требования к системам управления манипуляторами.

Системы управления манипуляторами предназначены для обеспечения точного позиционирования заготовки и калибров, сохранности валков клетки и оборудования, безопасности работы на клетке и предотвращения аварий.

Для начала действия системы автоматического регулирования перемещения используется сигнал из АСУ ТП цеха, который поступает на программируемый контроллер. С контроллера, в котором заложена программа перемещения манипулятора по калибрам, сигнал поступает на электродвигатель, на валу которого установлен программируемый энкодер, сигнал с которого поступает на устройство сравнения, где сравнивается с заданным. Более точное позиционирование заготовки происходит с помощью ультразвукового датчика. Для регулировки перемещения линеек манипулятора принимается принцип компенсации ошибки, для этого необходимо использовать сигнал о текущем перемещении, который идет непосредственно от датчика позиционирования.

Построение функциональной схемы системы регулирования

На рисунке 1 изображена функциональная схема системы регулирования манипулятором прокатной клетки 550.

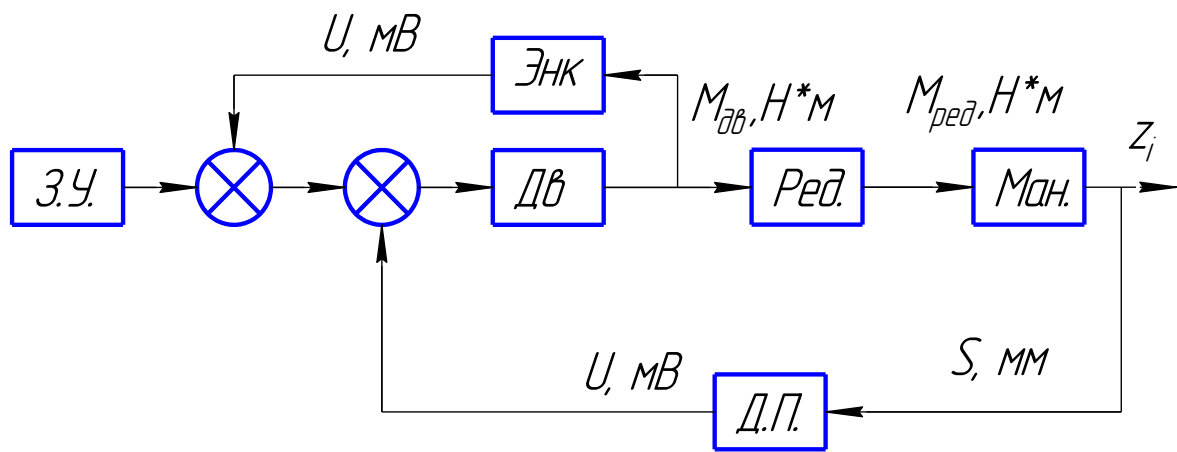


Рисунок 13 – Функциональная схема системы регулирования

З.У. – задающее устройство;

Энк. – энкодер;

Дв. – электродвигатель;

Ред. – редуктор;

М – манипулятор;

Д.П. – датчик позиционирования (ультразвуковой датчик).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был проведен литературный обзор современных металлургических мини-заводов. Предложена технологическая схема мини-завода, которая обладает такими преимуществами как: оптимальное использование производственного оборудования, гибкость технологической схемы, исключение нерациональных дорогостоящих перевозок, ввиду с расположением в непосредственной близости к потребителям. Рассчитана калибровка, для производства круга диаметром 14 мм, температурные и скоростные режимы, энергосиловые параметры. Произведен расчет производительности металлургического мини-завода. Предложено регулирование в автоматическом режиме процесса перемещения манипулятора реверсивной клетки дуо 550

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сивак, Б.А. Технологические основы проектирования машин и оборудования прокатного производства: Сортовые и листовые литейно-прокатные агрегаты для металлургических мини-заводов: Курс лекций/ Б.А. Сивак. – М.: МИСиС, 2001 – 65 с.
2. http://www.rusmet.ru/promnews/show/62567/Mini_Metallurgicheskie_Zavody
3. Смирнов, А.Н. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ МИНИ-ЗАВОДЫ: Монография/ Смирнов А.Н., Сафонов В.М., Дорохова Л.В., Цупрун А.Ю., — Донецк: Норд-Пресс, 2005 – С. 18,22–28.
4. Зайцев, О. Настоящее и будущее электродуговых печей//Металлы мира. Международное обозрение. – 2000. – №5. – с.13–19.
5. Еланский, Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства//Электрометаллургия. – 2001. – №5. с.3–14.
6. Смирнов, А.Н. Исследование характера износа футеровки агрегата "ковш-печь" в условиях современного мини металлургического завода / А.Н. Смирнов, А.Я. Минц, Р.В. Гиниятуллин, Электрометаллургия. – 2001. – №3. – с.26–29.
7. Зобнин, А.Д. Металлургическое оборудование прокатных цехов: Электронное учебное пособие/А.Д. Зобнин – М.: МИСиС, 2011. – С. 6.
8. <http://vniimetmash.com/>
9. <http://www.sibelectrotherm.ru/product/cat/6/>
10. <http://www.ruscastings.ru/work/168/5615/5623/7967>
11. Смирнов, А.Н. Металлургические мини-заводы / А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов, Л.В. Дорохова, А.Ю. Цупрун, 2005 © Ворд-Пресс, 2005
12. <http://www.sibelectrotherm.ru/product/cat/7/>
13. <http://www.nppsm.ru/operations1.php>
14. <http://www.mashprom.ru/competentions/metall/furnace/rolgangovye-prokhodnye-pechi/>

15. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Инатович. Издание 2-е переработанное и дополненное, М: Теплотехник, 2010, 490 с.

16. Зюзин, В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Справочник / В.И. Зюзин, А.В. Третьяков. – Челябинск: Металл, 1993. – 368 с.