

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

Политехнический институт

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

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

« ____ » _____ 2019г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Л.В. Радионова

« ____ » _____ 2019г.

Тема работы: «Разработка и исследование комплекса непрерывной разливки для обеспечения заготовкой рельсобалочного стана в условиях ПАО «ЧМК»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

ЮУрГУ–22.04.02.2019.183.00.00.00 ПЗ.ВКР

Руководитель работы
д.т.н., профессор

_____ Г.И. Коваль
« ____ » _____ 2019 г.

старший преподаватель

_____ О.О. Сиверин
« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы,
студент группы П-245

_____ В.А. Фридрих
« ____ » _____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Фридрих В.А. Разработка и исследование комплекса непрерывной разливки для обеспечения заготовкой рельсобалочного стана в условиях ПАО «ЧМК». – Челябинск: ЮУрГУ. ПиМОМД; 2019, 53 стр., 30 ил., 1 табл., библиогр. список – 8 наим., 11 листов чертежей формата А1.

В данной выпускной квалификационной работе приведены технические решения по разработке комплекса непрерывной разливки фасонной заготовки для обеспечения рельсобалочного стана. Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и графической части.

В пояснительной записке приведено исследование существующих машин непрерывного литья заготовок и ее узлов. Выполнен выбор параметров машины и механизма привода, расчет мощности привода. Разработана конструкция тянуще-правильного агрегата для протягивания фасонной заготовки. Осуществлен выбор функциональной схемы регулирования уровня металла в кристаллизаторе, расчет динамических характеристик и передаточных коэффициентов элементов системы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЛЬСОБАЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПАО «ЧМК». ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ НА МНЛЗ-5 ПАО «ЧМК»	6
1.1 Технология производства на УРБС ПАО «ЧМК»	6
1.2 Основное оборудование УРБС ПАО «ЧМК»	6
1.3 Обзор МНЛЗ-5 на ПАО «ЧМК»	7
1.4 Особенности конструкции машин и механизмов участка МНЛЗ №5	9
2 ОБЗОР ВЫПУСКАЕМЫХ ЗАГОТОВОК НА МНЛЗ И ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ КОМПЛЕКСАХ	15
2.1 Состав основного оборудования участков разливки	20
2.2 Обзор существующих конструкций ТПА	23
2.3 Литейно-прокатные агрегаты	27
3 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ КОМПЛЕКСА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ ФАСОННОЙ ЗАГОТОВКИ	32
3.1. Проектирование участка	32
3.2 Оценка необходимой формы и габаритов заготовки для обеспечения рельсобалочного стана ПАО «ЧМК»	33
3.3 Разработка модели кристаллизатора	33
3.4 Опорно-направляющая система	34
3.5 Тянуще-правильный агрегат	36
4 ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДА. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПРИВОДА	38
5 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ УТСАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ	42
6 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ	45
7 СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ	48
7.1 Описание элементов гидропривода уравнениями типовых динамических звеньев	48
7.2 Кинематическая схема гидропривода стопорного затвора	48
7.3 Расчет динамических характеристик и передаточных коэффициентов элементов системы	49
7.4 Выбор датчиков технологических измерений	51
7.5. Выбор принципа регулирования	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	53

ВВЕДЕНИЕ

Ведущие мировые производители оборудования для непрерывной разливки достигли высочайших показателей для классических МНЛЗ (разливка сляба, блюма, круга, сортовой заготовки) и сконцентрировали основное свое внимание на альтернативных концепциях по созданию литейно-прокатных агрегатов для получения продукции.

МНЛЗ — машина непрерывного литья заготовок. Жидкая сталь непрерывно заливается в водоохлаждаемую форму, называемую кристаллизатором. Перед началом заливки в кристаллизатор вводится специальное устройство с замковым захватом («затравка»), как дно для первой порции металла. После затвердевания металла затравка вытягивается из кристаллизатора, увлекая за собой формирующийся слиток [2]. Поступление жидкого металла продолжается и слиток непрерывно наращивается. В кристаллизаторе затвердевают лишь поверхностные слои металла, образуя твёрдую оболочку слитка, сохраняющего жидкую фазу по центральной оси. Поэтому за кристаллизатором располагают зону вторичного охлаждения (ЗВО), называемую также второй зоной кристаллизации. В этой зоне в результате форсированного поверхностного охлаждения заготовка затвердевает по всему сечению. Этот процесс слиткообразования является способом получения слитков неограниченной длины. В этом случае по сравнению с разливкой в изложницы резко уменьшаются потери металла на обрезку концов слитков, которые, например, при литье спокойной стали составляют 15—25 %. Кроме того, благодаря непрерывности литья и кристаллизации, достигается полная равномерность структуры слитка по всей его длине.

Во время кристаллизации формирующийся слиток металла постоянно перемещается вверх-вниз относительно кристаллизатора посредством небольших цилиндров, расположенных в ручье. Это позволяет уменьшить количество трещин — дефектов. Вокруг каждого ручья создаётся сильное электромагнитное поле, которое позволяет формировать надлежащую кристаллическую структуру заготовки.

Различают 4 конструкции МНЛЗ: вертикальные, криволинейные, радиальные, горизонтальные.

По количеству ручьёв МНЛЗ разделяют на 1—8 ручьевые (НЛМК-КАЛУГА 8 ручьёв)

В зависимости от геометрии слитка МНЛЗ делятся на: слябовые, блюмовые, сортовые.

Непрерывная разливка фасонных заготовок получила широкое распространение в мире, особенно на металлургических заводах США, Японии и Южной Кореи. В основном эти МНЛЗ расположены в электросталеплавильных цехах, большая часть из которых работает с использованием шихты прямого восстановления. Практически все МНЛЗ (их число на сегодняшний день превышает 60 единиц) для производства балочных фасонных заготовок в конструкционном плане являются комбинированными, что предполагает разливку на них прямоугольных заготовок.

1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЛЬСОБАЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПАО «ЧМК». ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ НА МНЛЗ-5 ПАО «ЧМК»

1.1 Технология производства на УРБС ПАО «ЧМК»

При производстве рельс в обжимной клетке производят нечетное количество (7 для рельса Р65) проходов (7-11 при производстве балки) и получают профилированную полосу, которая в дальнейшем поступает к пиле горячей резки, в которой обрезается передний конец заготовки, которую шлеппер перекладывает на линию ультрагибкого реверсивного стана [1]. В данной клетке осуществляют 3 прохода (для балки те же 3 прохода), в которых постепенно формируется заданный профиль рельса. Полученный раскат по рольгангу передается в чистовую рабочую клетку дуо, где за один проход окончательно формируется профиль готового рельса. Данный метод имеет название Profile-Sizing-Process (сокращенно PSP), и имеет ряд особенностей. Например, участок УГР оборудован двумя универсальными реверсивными клетками, в составе которых присутствуют по два горизонтальных и по два вертикальных вала, и реверсивной эджерной клеткой, оборудованной двумя горизонтальными валами, расположенной между универсальными. На валах обжимного стана нарезаны калибры, через которые осуществляется прокат. При окончании проката в одном из калибров, заготовку на входе/выходе из клетки манипулятор с устройством кантовки перемещает на необходимое для последующей прокатки положение и калибр. На всех прокатных участках стана (обжимная клетка, УГР, чистовая клетка) производится нечетное количество проходов. Чистовая клетка производит один проход, после которого заготовка отправляется на линию закалки (для рельс) и далее на пилы резки, холодильник и зону отделки.

1.2 Основное оборудование УРБС ПАО «ЧМК»

На рисунке 1 представлена схема расположения оборудования на универсальном рельсобалочном стане Прокатного цеха №3.

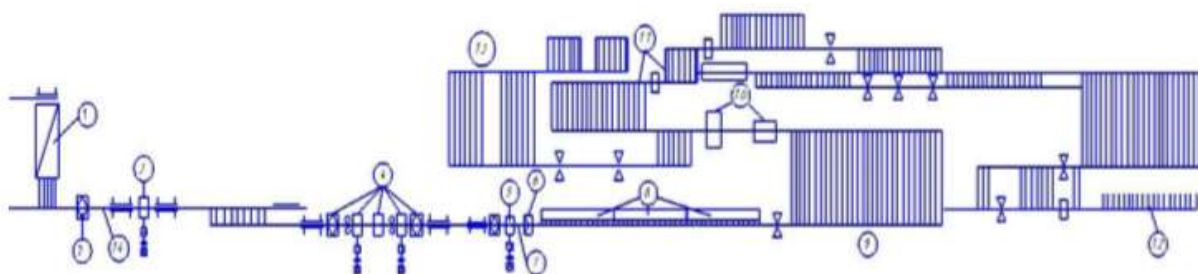


Рисунок 1 – Планировка УРБС: 1- нагревательная печь с шагающими балками; 2 - существующий обжимной стан (ОС1); 3- новый обжимной стан (ОС2); 4- ультрагибкий реверсивный стан (УГР); 5- универсальная чистовая клетка (ЧК); 6- лазерная система измерения NIPROFILE; 7- маркировщик рельсов; 8- система RH2 для закалки головки рельса в потоке стана; 9- холодильник; 10- поточные горизонтальная и вертикальная правильные машины; 11-

участок испытаний методами неразрушающего контроля; 12- поточная холодная обработка, контроль и чистовая отделка рельсов; 13- автоматическое штабелирование и чистовая отделка балок и профилей; 14- системы DANIELI AUTOMATION по управлению технологическим процессом и оборудованием

1.3 Обзор МНЛЗ-5 на ПАО «ЧМК»

Машина непрерывного литья заготовок типа VLC12.05 (МНЛЗ-5) предназначена для непрерывной разливки стали в заготовки для прокатных станов. Основное назначение комплекса МНЛЗ-5 литье заготовок для рельсобалочного стана ПАО «ЧМК» [4].

МНЛЗ-5 используется для приема в промежуточный ковш жидкой стали после ее внепечной обработки на АКОС, разливки стали в кристаллизаторы, формирования сечения и структуры, охлаждения, протягивания заготовки с последующей мерной порезкой, транспортировкой и охлаждением на холодильнике с последующим складированием на стеллажах готовой продукции и отгрузкой потребителю.

Завод-изготовитель фирма «ДАНИЕЛИ» (Италия).

Дата ввода в эксплуатацию: 2011 год.

Комплекс непрерывной разливки конверторной стали пущен в эксплуатацию в декабре 2011 года. Это 4-х пролетное здание, пристроенное к производственному корпусу конверторного цеха и к корпусу МНЛЗ-4. Все пролеты имеют автовъезды.

Пролет Г1-В1 оборудован холодильником с шагающими балками и разгрузочным рольгангом, накопительные стеллажи и накопительный отстойник. В пролете работает пратцен-кран $Q=16$ т, №44.

В пролете В1-Б1 расположены: промежуточный и транспортный рольганги, шлеппер, стенд медленного охлаждения с толкателем, стеллажи готовой продукции, эксплуатируется два пратцен-крана №42 и №43. Для отгрузки готовой продукции в пролете имеются ж/д пути.

Пролет В1-Б1 оборудован тупиковыми ж/д путями для отгрузки отходов из бункера, после разборки футеровки промковшей. В пролете расположена 4-х ручьевая МНЛЗ, с кристаллизаторами, механизмами качания, криволинейными и горизонтальными рольгангами с душирующими установками, тянуще-правильными агрегатами, устройствами для задачи затравок в кристаллизаторы с пневматическими толкателями, рольгангами, машиной газовой резки заготовок, передаточной тележкой. В пролете работают электромостовые краны №38, 37, $Q=80/20$ т.

В пролете Б1-А1 работает литейный кран №35, $Q=245/63/20$ т, с помощью которых сталь ковш с жидким металлом устанавливается на стенд агрегата печь-ковш и после комплексной обработки стали транспортируется и устанавливается на подъемно-поворотный ст енд МНЛЗ-5.

Основные технические данные МНЛЗ-5 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические данные МНЛЗ-5

Наименование параметра	Значение	
	Номинальное	Допустимое
1. Тип машины	ЗВLC12.05	-
2. Количество ручьев (шт.)	5	5
3. Радиус машины (м)	12	12
4. Радиус разгиба заготовки (м)	12-16, 5-30	12-16, 5-30
5. Расстояние между ручьями (мм)	1700	1700
6. Сечение заготовок	200x200 300x360	300x360
7. Толщина огнеупорного слоя свода (мм)	200	200
8. Диаметр применяемых электродов (мм)	406	406
9. Объем загрузочного бункера для добавок (м ³)	1,5	1,5
10. Перемешивание стали в ковше инертными газами (аргон или азот):		
Чистота аргона (%)	99,99	99,99
Чистота азота (%)	99,97	99,97
Давление аргона/азота (бар)	12	16
Расход аргона/азота (нл/мин)	50	600
11. Емкость сталеразливочного ковша (т)	155	155
12. Масса стали в ковше (т)	140	155
13. Емкость промковша (т)	38	40,5
14. Механизм качания кристаллизатора	Гидравлический	-

15. Система вторичного охлаждения заготовки	Водяная	-
16. Резка заготовок	Газокислородная	-
17. Длина заготовок (м)	3,5-12	3,5-12
18. Производительность МНЛЗ-5 (млн.т./год)	1	-
19. Марки разливаемых сталей	Углеродистые конструкционные	-

1.4 Особенности конструкции машин и механизмов участка МНЛЗ №5

1.4.1 Поворотный стенд

Назначение:

Перемещение заполненного разливочного ковша с помощью вращательного движения относительно оси стенда из загрузочного положения в положение разливки над промковшом и прием второго стальной ковша (в позиции «парковки»).

Местоположение:

На бетонном фундаменте позади разливочной площадки

Конструкция:

Специальный подшипник с прямозубым цилиндрическим зубчатым колесом для полного поворота (по и против часовой стрелки). Привод переменного тока с частотным преобразователем, прямозубой цилиндрической зубчатой передачей и ведущей шестерней для плавного ускорения и торможения. Полностью независимая система аварийного привода, работающая от пневматического двигателя.

Основные данные:

Грузоподъемность

- макс. вес жидкого металла: 140 т

- полный вес: 210 т

Проектная емкость:

По одному полному ковшу с обеих сторон или один полный ковш с одной стороны (самая худшая ситуация с точки зрения нагрузок)

- Радиус поворота 4.5 м

- Проектный запас прочности 1,5

- Скорость вращения плеча 1 об/мин

- Число оборотов привода в аварийном режиме 0,5 об/мин

- Среда для аварийного привода Азот

- Рабочее давление для аварийного привода мин. 6 бар

Общая конструкция и детали:

Опорный рычаг – конструкция из сварной стальной плиты, обработана машинными способами с креплениями вилочного типа для ковша по обоим концам.

Рама (основание) – конструкция из сварных стальных плит, обработана машинными способами, усилена ребрами по внешнему диаметру. Нижний обод фланца имеет по своей окружности отверстия для анкерных болтов, залитых в фундамент стенда.

Центральный вал – между рамой-основанием и опорным рычагом, конструкция из сварных стальных плит, обработана машинными способами, усилена ребрами.

Подшипник – антифрикционный подшипник, рассчитанный на большие нагрузки и передача с внешним зацеплением.

Привод для поворота – электродвигатель (двигатель переменного тока с преобразователем частоты) и присоединенный к нему останочный тормоз, который воздействует через коробку передач на ведущую шестерню и передвигает таким образом зубчатый венец. Привод на ведущую шестерню сконструирован таким образом, что боковые удары, возникающие при установке ковша на стенде при помощи крана, могут упруго поглощаться с помощью предохранительной фрикционной муфты.

Смазка – зубчатый венец и подшипники смазываются независимым смазочным устройством (отдельный блок для стенда ковша, установлен в стенде).

1.4.2 Промежуточный ковш

Назначение:

Распределение горячей стали из ковша по индивидуальным ручьям, отделение включений

Местоположение:

На тележке промковша

Конструкция:

Пригодная для холодного или горячего режима работы промковша, усиленная стальная оболочка сделана из толстолистовых стальных плит, с постоянной и сменной огнеупорной футеровкой, оптимизированная с помощью компьютера с целью:

- оптимальное течение стали в кристаллизатор
- управляемое падение температуры
- идеальную видимость в кристаллизатор

Основные данные:

Вместимость

- около 32 т стали на рабочем уровне
- около 35 т стали на уровне переполнения

Уровень стали

- примерно 800 мм при рабочем уровне
- примерно 800 мм на уровне переполнения

Общий вес, включая вес жидкой стали, корпуса и футеровки пром. ковша припл. 80 т.

Общая конструкция и детали:

Промковш – конструкция из толстолистовых стальных плит, сварная и обработанная металлорежущими станками

Промковш имеет:

- сливной лоток, расположенный напротив операторов кристаллизатора
- четыре опорных поверхности, поддерживающих промковш на его тележке
- четыре цапфы для подъема проковша

Промковш сконструирован так, чтобы оснащать его стопорными механизмами.

1.4.3 Течение жидкой стали в промковш

Жидкая сталь разливается с ковша в промковш через футерованный разливочный стакан. Этот стакан защищает жидкую сталь от поврежденности атмосфера, предотвращением повторного окисления и образованием вредных примесей. Порошок добавляется в промковш с целью уменьшения потери тепла и предотвращения повторного окисления стали. Порошок для промковша дает и металлургические преимущества, абсорбируя и выделяя включения из жидкой стали. Промковш проектируется с учетом оптимальных аспектов течения жидкости (контур/ перегородки / отражателей / футеровка /подогрев и т.д. Жидкая сталь разливается в кристаллизатор с применением дозирующих разливочных стаканов. При открытом режиме разливки добавляется смазочное масло в кристаллизатор. При этом течение стали постоянное (за счет калиброванных разливочных стаканов) и уровень жидкой стали внутри кристаллизатора автоматически управляется изменением скорости тянущего устройства. Струя жидкой стали можно защищать инертным газом. При разливке блюмов и балочных заготовок из успокоенной кремнием стали обычно применяют литниковые чаши вместе с литейным порошком.

1.4.4 Стол качания

Зона формирования заготовки является самой главной зоной МНЛЗ.

Оборудование качания используется для обеспечения вертикального качающего движения кристаллизатора и роликов у основания, которые прикреплены анкерами к кристаллизатору.

Оборудование выполняет следующие задачи в зоне формирования заготовки, а именно:

- противопоставляет уменьшение прилипание стали к стенке гильзы кристаллизатора во время формирования “оболочки” заготовки;
- прессовка дефектов малого уровня (трещины) поверхности в заготовке, во время этапа поднимания кристаллизатора;
- содействие формовки поверхностной оболочки, чтоб оболочка заготовки могла лучше выдерживать механическое воздействие, которому она подвергается;

Заготовка определенного сечения формируется при помощи действий “уплотнения”, получающегося при движении стола качания.

Ролики у основания кристаллизатора и система распыления воды охлаждения устанавливаются под зоной кристаллизатора и используются для направления заготовки, когда она выходит из кристаллизатора и вставки затравки в кристаллизатор во время подготовки к разливке. В то же самое время, в данных зонах заготовка охлаждается напрямую посредством множества распылительных наконечников: в роликах у основания и системы распыления воды охлаждения устанавливается для заготовки конкретного сечения.

Возвратно-поступательное движение один из наиболее важных свойств агрегата и составляет одну из основных характеристик МНЛЗ.

Устройство качания кристаллизатора является системой, которая качает, передает возвратно-поступательное движение на кристаллизаторы и ролики у основания, подсоединенные к нему.

На МНЛЗ, основным назначением этих устройств является предотвращение склонности стали к прилипанию к внутренней поверхности гильзы кристаллизатора во время формирования “оболочки”; данное движение благоприятствует опусканию стали; таким образом, практически устраняется возможность прилипания стали к гильзе.

Для “качания” так же существует очень важное правило в формировании и застывании производимой заготовки. В машине возвратно-поступательное движение производится при помощи кулачкового вала, приводимого в движение по средствам двигателя переменного тока и рычажного механизма, который передает движение к задействованным деталям.

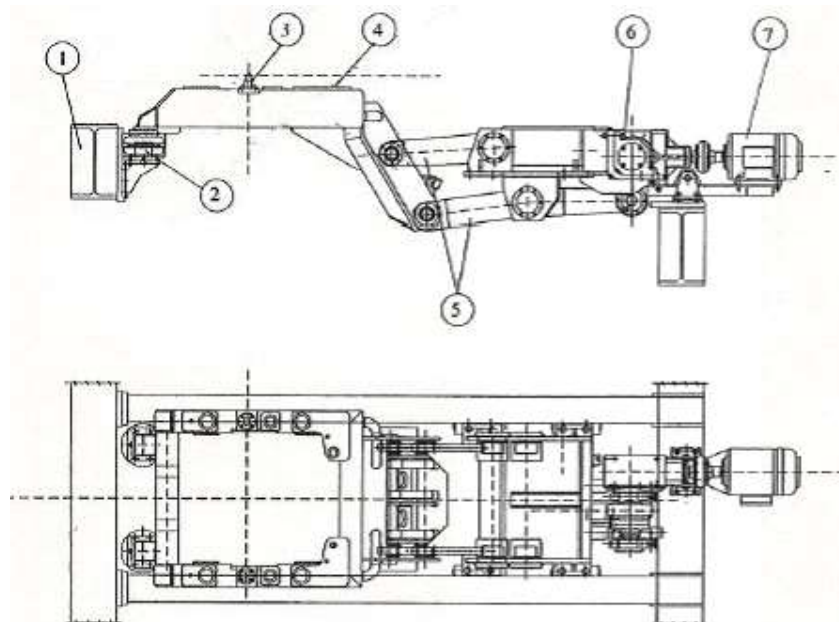


Рисунок 2 – Стол качания. 1 – опорная металлоконструкция; 2 – пневмопривод; 3 – центровочный палец кристаллизатора; 4 – уровень расположения кристаллизатора; 5 – рычаги; 6 – редуктор; 7 – электродвигатель переменного тока.

1.4.5 Кристаллизатор

Назначением кристаллизатора является прием струи жидкой стали, выливающейся с промежуточного ковша, расположенного сверху, и застывание при помощи охлаждения с промежуточным холодоносителем циркуляцией воды.

Гильза кристаллизатора изготовлена из чистой меди, которая является отличным теплопроводником, обеспечивающая передачу к окружающей жидкости большего количества тепла, чем при использовании других металлов.

Трубчатый медный элемент содержится в подходящем металлическом кожухе (чугунный распределитель) в котором подается в пространство между внешней стенкой кристаллизатора и внутренней частью распределителя воды.

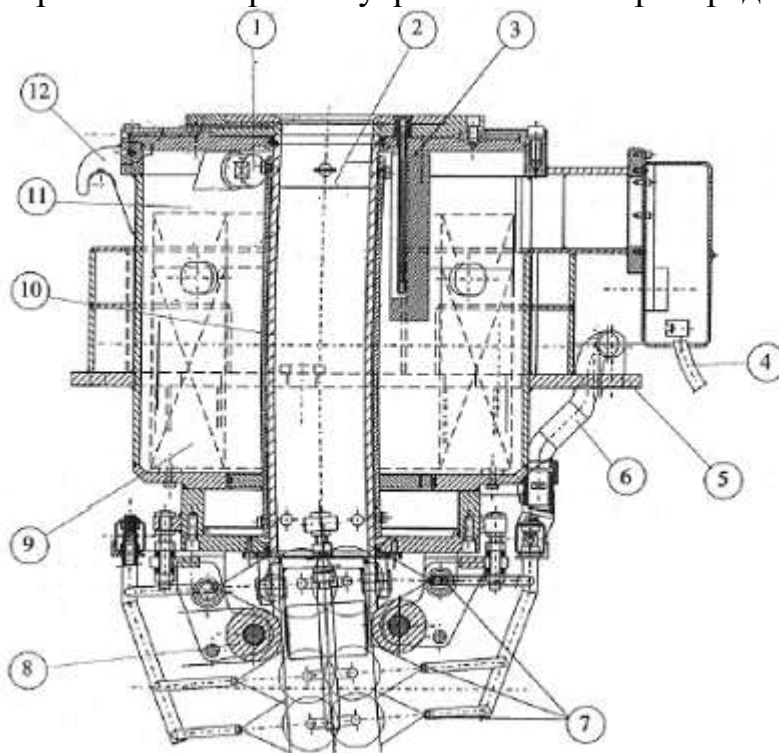


Рисунок 3 – Кристаллизатор: 1 – датчик уровня; 2 – уровень мениска; 3 – источник для уровня стали; 4 – кабели подачи питания для электросмесителя; 5 – плоскость расположения на столе качания; 6 – шланги водяного охлаждения до кристаллизатора и рамы; 7 – спреера; 8 – ролики у основания; 9 – смеситель; 10 – гильза кристаллизатора; 11 – корпус кристаллизатора; 12 – крючок для поднимания.

Гильза кристаллизатора внутри покрыта хромом 0.01мм, данный тип футеровки обеспечивает гладкую и прочную поверхность, которая уменьшает трение и увеличивает срок службы гильзы кристаллизатора.

Охлаждение заготовки в кристаллизаторе относится к первичному охлаждению, поток воды в плоскости поступает с низу вверх.

1.4.6 Тянуще - правильный агрегат

Валки имеют внутреннее охлаждение. Каждый валок имеет поворотную муфту, который позволяет впуск и выпуск охлаждающей жидкости.

Вода также циркулирует в опорах для роликов и в направляющем желобе для заготовок, для защиты важных деталей от тепла, исходящего от разливочной заготовки.

Охлаждающая система питается от системы замкнутого типа.

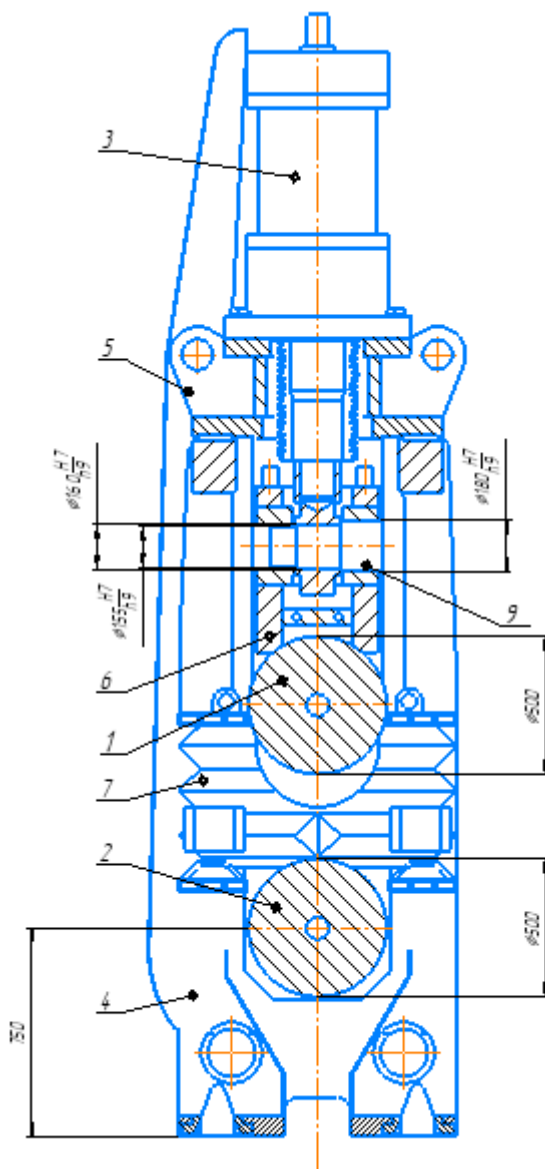


Рисунок 4 – Тянуще-правильный агрегат : 1 – приводной ролик; 2 - холостой ролик; 3 – гидроцилиндр; 4 – станина; 5 – фланец; 6 – прижимной механизм; 7 – рубашка охлаждения; 8 – мотор-редуктор; 9 – палец гидроцилиндра

2 ОБЗОР ВЫПУСКАЕМЫХ ЗАГОТОВОК НА МНЛЗ И ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Ведущие мировые производители оборудования для непрерывной разливки достигли высочайших показателей для классических МНЛЗ (разливка сляба, блюма, круга, сортовой заготовки) и сконцентрировали основное свое внимание на альтернативных концепциях по созданию литейно-прокатных агрегатов для получения продукции [5].

Сляб - полуфабрикат представляющий собой стальную заготовку (плиту) прямоугольного сечения с большим отношением ширины к высоте (до 15), используемую для последующего производства листового проката (рисунок 1). Сляб получают преимущественно при разливке на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Толщина сляба колеблется в пределах 40-400 мм, а ширина - до 3,5 м.

Блюм - полупродукт металлургического производства в виде стальной заготовки квадратного или прямоугольного сечения (минимальный размер меньшей стороны 200 мм), полученной при разливке на МНЛЗ или путем прокатки из слитка на блюминге. Блюмы используются в качестве исходной заготовки для прокатки на различные профили - круг, квадрат, швеллер, двутавр, рельс и пр..

Заготовка сортовая - продукт металлургического производства в виде стальной заготовки квадратного, прямоугольного или круглого сечения (максимальный размер меньшей стороны не более 180-200 мм), полученной при разливке на МНЛЗ или путем прокатки из слитка на блюминге; в дальнейшем сортовая заготовка используется в качестве исходной заготовки для прокатки на различные профили (круг, квадрат, швеллер, двутавр и пр.).

Мировое производство блюмов сегодня оценивается на уровне 210-220 млн.т в год. По состоянию на начало 2008г. в мире насчитывалось примерно 330-340 блюмовых МНЛЗ, около 50 машин для разливки крупной фасонной заготовки и порядка 100 машин для получения круглой заготовки. Средняя производительность одного ручья для блюмовой МНЛЗ составляет около 135-140 тыс.т стали в год. Рекордные показатели производительности на наиболее совершенных блюмовых МНЛЗ мира достигают на японских металлургических заводах «Сумитомо Метал» (размер блюма 300x400 мм) и «Даидо Стил» (размер блюма 370x480 мм) 300 тыс.т стали в год, а на австралийском заводе «БХР Стил» (размер блюма 400x630 мм) – 400 тыс.т стали в год.

Максимальное известное в мире сечение блюмовой заготовки отливается на заводе «БХР Стил» (Австралия). Однако существует еще ряд радиальных блюмовых МНЛЗ в Японии, Корее, Германии и т.д., на которых отливается блюм с размером меньшей стороны 400 мм. При этом базовый радиус таких МНЛЗ составляет 14-15 м.

Между тем, в последнее десятилетие все большее внимание уделяется созданию блюмовых МНЛЗ с небольшим сечением заготовки (180-240 мм). Такие МНЛЗ оказываются более компактными (меньший базовый радиус ма-

шины), а также обеспечивают высокое качество внутренней структуры заготовки (уменьшаются осевая ликвация и пористость). В технологическом плане эти МНЛЗ в большей степени адаптированы к применению таких прогрессивных приемов обработки как электромагнитное перемешивание жидкой фазы и «мягкое» механическое обжатие жидкой сердцевины.

Непрерывная разливка круглых заготовок (диаметр свыше 200 мм) осуществляется главным образом для обеспечения трубной промышленности. Кроме того, круглая заготовка является исходным продуктом для производства колес, бандажей, колец различных назначений и т.п. Поэтому МНЛЗ этого типа больше распространены в странах с развитым металлургическим и машиностроительным комплексом. В мире в стадии эксплуатации и строительства насчитывается свыше 140 МНЛЗ (свыше трехсот пятидесяти ручьев) для производства круглых заготовок. Вместе с тем, следует отметить, что примерно половина всех МНЛЗ для разливки круглой заготовки представляют собой комбинированные машины с возможностью разливки заготовок квадратного или прямоугольного сечения.

Использование круглой заготовки по сравнению с применением непрерывнолитых блюмов при производстве труб имеет определенные преимущества. Во-первых, поверхность круглой заготовки имеет более высокое качество, чем квадратной (нет угловых трещин), что обеспечивает более высокое качество и механическую прочность труб. Во-вторых, повышенная плотность равноосной структуры в осевой зоне круглых заготовок обеспечивает снижение количества микродефектов. Последние обычно образуются на внутренней поверхности трубы из-за наличия осевой пористости у квадратных заготовок.

Качественные трубные марки сталей разливаются преимущественно на радиальных или криволинейных МНЛЗ с многоточечным загибом и разгибом заготовки, что позволяет получать заготовки диаметром 300-450 мм (максимально до 600 мм, завод «ELLWOOD STEEL», Бельгия). Базовый радиус на этих машинах колеблется в пределах 12-14 м в зависимости от максимального диаметра отливаемой заготовки. В целом, говоря о непрерывной разливке круглых стальных заготовок, можно отметить, что в последнее время полностью оформилась тенденция создания комбинированных МНЛЗ, которые позволяют разливать несколько различных сечений блюмов, а также круглых заготовок. Примером такого подхода является четырехручьева радиальная МНЛЗ-1 с диаметром круглой заготовки 430 мм на Нижнетагильском металлургическом комбинате (Россия). Она представляет собой четырехручьевую машину криволинейного типа с базовым радиусом 12 м и радиальным кристаллизатором. Скорость разливки 0,45-0,50 м/мин для круглой заготовки. Кроме того, машина позволяет разливать блюм сечением 300x360 мм со скоростью до 0,6 м/мин.

В 2006 г. на Таганрогском металлургическом заводе (Россия) вступила в эксплуатацию комбинированная пятиручьева МНЛЗ для получения круга диаметром 150-400 мм.

При этом МНЛЗ позволяет также разливать квадратную заготовку сечением от 150x150 мм до 340x340 мм. Проектная производительность машины составляет 950 тыс. т в год.

Аналогичная МНЛЗ поставлена фирмой «SMS-Demag» на Северском трубном заводе.

В 2008 г. на мини-заводе ЗАО «Азовэлектросталь» (г. Мариуполь) в электросталеплавильном цехе запущена в эксплуатацию двухручьевая комбинированная блюмовая МНЛЗ, обеспечивающая производство квадрата 250x250 мм и круга диаметром 400 мм. Качество стали обеспечивается ее обработкой на установке ковш-печь и вакууматоре.

Разработка и промышленная реализация процесса непрерывной разливки фасонной заготовки, имеющей геометрическую форму близкую к двутавровой балке, является одним из значимых технологических достижений в области литья стали. Использование непрерывной разливки для получения фасонной балочной заготовки (так называемая «собачья кость») позволяет существенно снизить себестоимость готового проката, а также сократить потребление энергии и выбросы двуокиси углерода. Так, к основным преимуществам этой технологии относят:

- экономию капитальных затрат для нового балочного стана до 25-30% за счет исключения черновой клетки;
- повышение производительности прокатного передела на 15% за счет исключения черновой клетки и связанных с ней черновых проходов;
- снижение потребности в электроэнергии на 50% за счет уменьшения числа обжатый;
- повышение выхода годного на 1,0-1,5%.

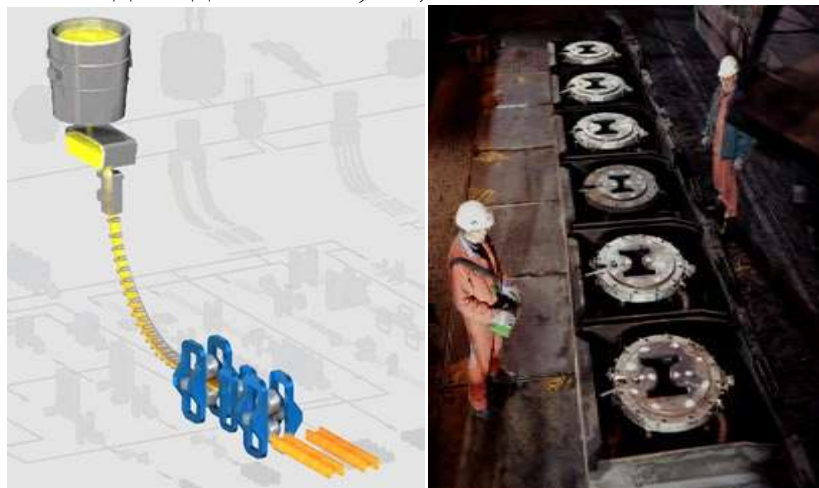


Рисунок 5 – Схема МНЛЗ для разливки фасонной заготовки (слева) и расположение кристаллизаторов для разливки фасонной заготовки на 6-ти ручьевой МНЛЗ (справа)

Непрерывная разливка фасонных заготовок получила широкое распространение в мире, особенно на металлургических заводах США, Японии и Южной Кореи. В основном эти МНЛЗ расположены в электросталеплавильных цехах, большая часть из которых работает с использованием шихты прямого восстановления. Практически все МНЛЗ (их число на сегодняшний день превышает

60 единиц) для производства балочных фасонных заготовок в конструкционном плане являются комбинированными, что предполагает разливку на них прямоугольных заготовок.



Рисунок 6 – Разливка стали на фасонную заготовку двумя струями (сверху) и внешний вид такой заготовки (снизу)

Ведущими производителями таких МНЛЗ являются фирмы SMS-Demag и MDM (Германия), Danieli (Италия), а также японские концерны Mitsubishi и Sumitomo.

Primetals technologies – Британская компания, производитель оборудования для чёрной и цветной металлургии, образованная в 2015 году слиянием совместного предприятия Mitsubishi-Hitachi Metals Machinery и отраслевого подразделения Siemens VAI Metals Technologies.

За последние годы Primetals Technologies разработала и установила ряд машин непрерывной разливки заготовок с размерами наиболее близкими к конечным, а также особых машин непрерывной заготовки комбинированного типа для сортового проката. Рабочий диапазон данных машин большой, что дает гибкость в работе, возможность разливать продукцию различных сечений и легко адаптироваться под требования рынка.

На одной одноручьеваой машине можно производить как сортовую заготовку, блюмы, так и фасонные заготовок с размерами, близкими к конечному.

Оптимизация разливки фасонных заготовок произошла благодаря применению последних разработок в конструктивной части оборудования, а также точному регулированию конусности кристаллизатора и наличию форсуночного охлаждения. МНЛЗ Primetals Technologies с горячим посадом и прямой прокаткой, разливающие фасонную заготовку, отличаются высокой продуктивностью. Разливка балочных фасонных заготовок с размерами, наиболее близкими к конечным - прекрасная альтернатива более традиционному маршруту разливки блюмов при производстве двутавровых балок от малого до очень большого сечения и фасонных профилей.

Основные преимущества:

- увеличение производительности и гибкости производства;
- оптимальное качество и техническая готовность оборудования;
- разработка оптимальных решений под особые требования;
- максимальная техническая готовность систем и оборудования при низких затратах на техническое обслуживание.

На территории СНГ в 2000 г. на Нижнетагильском металлургическом заводе была введена в эксплуатацию двухручьева МНЛЗ-3 с базовым радиусом 12 м для отливки фасонной заготовки нескольких типоразмеров, предназначенной для прокатки колонных профилей и крупных широкополочных балок с высотой 600-1000 мм. На машине отливают также прямоугольные заготовки сечением 200х(500-600) мм.

МНЛЗ работает на площадке строительного проката ЕВРАЗ ЗСМК с 1994 года. Она была спроектирована и изготовлена фирмой DANIELI для производства трубной заготовки. После реконструкции в 2002 году сортовая МНЛЗ начала выпускать непрерывнолитую заготовку сечением 150х150 мм и 150х200 мм. Производительность машины – 1млн 200 тыс. тонн заготовки в год. Из непрерывнолитой заготовки на стане 450 среднесортного цеха ЕВРАЗ ЗСМК изготавливается широкий спектр продукции: швеллер, балка, арматура, шахтная стойка, уголки, монорельс.

ЕВРАЗ реализовал инвестиционный проект по реконструкции сортовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) кислородно-конвертерного цеха № 2 ЕВРАЗ ЗСМК. Контракт на реконструкцию сортовой МНЛЗ подписан с итальянской фирмой DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A.

Реконструкция машины для непрерывного литья заготовок кислородно-конвертерного цеха №2 позволила ЕВРАЗ ЗСМК увеличить производительность МНЛЗ до 2,2 млн тонн заготовки в год, снизить себестоимость заготовки и улучшить качество металлопроката за счет применения передовых технических решений. Кроме того, реализация проекта существенно расширило сортамент продукции: ЕВРАЗ ЗСМК сможет производить заготовку сечением 130*130мм и 200*200мм.

Сортовая МНЛЗ обеспечивает непрерывнолитой заготовкой стан 450 среднесортного цеха ЕВРАЗ ЗСМК, также продукция экспортируется на внутренний и внешний рынки.

2.1 Состав основного оборудования участков разливки

К основным функциональным элементам МНЛЗ можно отнести:

- сталеразливочный стенд (1) – предназначен для размещения на нем сталеразливочных ковшей (2), передачу их из резервного положения в положение разливки и обратно, обеспечения серийной разливки, подъема и опускания ковшей при разливке, а также для непрерывного взвешивания ковшей с металлом;

- тележка промежуточного ковша – служит для удержания его при разливке и перемещения из резервной позиции в рабочую;

- промежуточный ковш (3) – обеспечивает поступление металла в кристаллизатор с определенным расходом хорошо организованной струей, позволяет разливать сталь в несколько кристаллизаторов одновременно и осуществлять серийную разливку методом «плавка на плавку» при смене сталеразливочных ковшей без прекращения и снижения скорости разливки; промежуточный ковш является буферной емкостью, так как с его помощью согласовывается поступление металла из сталеразливочного ковша в кристаллизатор;

- кристаллизатор (4) – предназначен для приема жидкого металла, формирования слитка заданного сечения и первичного его охлаждения (выполняется из меди и охлаждается в процессе разливки водой);

- механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора (5) – создает условия, снижающие вероятность возникновения прорывов корки слитка на выходе из него, а также обеспечивает полное «залечивание» места разрыва, возникшего при движении слитка в кристаллизаторе;

- зона вторичного охлаждения (ЗВО) – позволяет создать оптимальные условия для полного затвердевания непрерывно отливаемого слитка, обеспечивающие равномерное охлаждение заготовки (распыления воды форсунками (6), поддержание ее геометрической формы роликами (7) (предотвращение выпучивания) и требуемое качество металла;

- тянуще – правильная машина (ТПМ) – предназначена для вытягивания литой заготовки из кристаллизатора, выпрямления ее на радиальных и криволинейных устройствах и подачи к машине (механизму) для резки; ТПМ обеспечивает подачу затравки в кристаллизатор, удержание ее в кристаллизаторе на время уплотнения зазоров, вытягивание с непрерывнолитой заготовкой из кристаллизатора, отделение головки затравки от заготовки и т.п.;

- машина (механизм) для резки заготовок (9) – обеспечивает разделение непрерывнолитого металла на мерные длины в соответствии с требованиями потребителей;

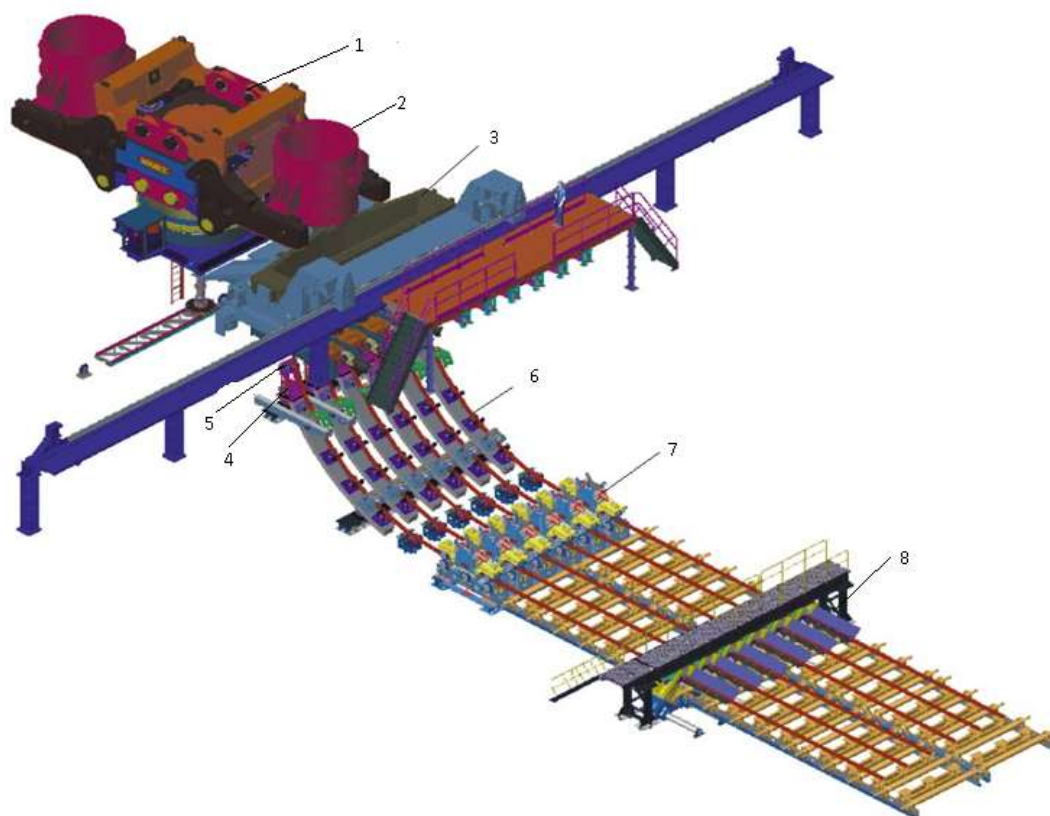


Рисунок 7 – Общая схема разливки стали на МНЛЗ

Обобщая известные подходы в области технологии разливки сортовой заготовки, следует отметить, что технологические переливы стали осуществляются как открытой (незащищенной), так и закрытой (специальная огнеупорная проводка) струей (рисунок 8).

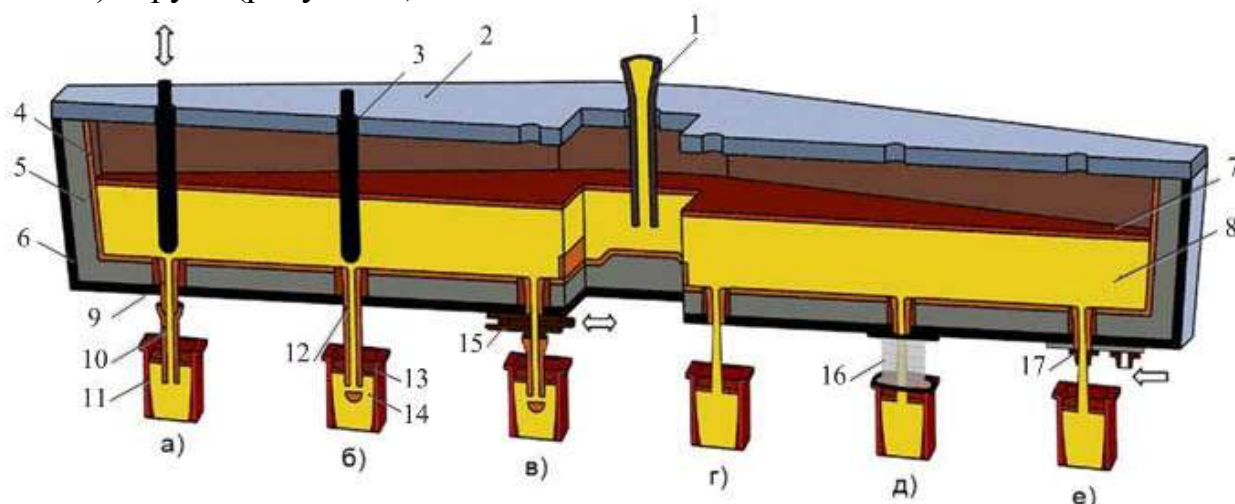


Рисунок 8 – Схема разливки стали на сортовой МНЛЗ закрытой (а,б, в, д) и открытой (г, е) струей: 1 – защитная труба; 2 – крышка промковша; 3 – стопор-моноблок; 4, 5, 6 – рабочий, теплоизоляционный и арматурный слой футеровки; 7 – ТИС; 8 – жидкий металл в промковше; 9 – стакан-дозатор; 10 – погружной стакан; 11 – кристаллизатор; 12 – погружной стакан, совмещенный со стаканом дозатором; 13 – ШОС; 14 – жидкий металл в кристаллизаторе; 15 – трехплитный шиберный затвор; 16 – сильфон; 17 – БСС

2.2 Обзор существующих конструкций ТПА

Представленная на рисунке 12 клеть состоит из пяти роликов, из которых три нижних ролика установлены на опорной раме, причем первый по ходу движения заготовки (со стороны разливочной дуги) ролик выполнен приводным. Остальные два нижних ролика холостые. На среднем (опорном) ролике установлен круговой импульсный датчик. Два верхних ролика установлены на качающихся рычагах верхней стойки, закрепленной на опорной раме, над первым и последним роликами клетки, образуя две тянущие пары. Оба верхних ролика выполнены с индивидуальным приводом от электродвигателей через двухступенчатые планетарно-червячные редукторы. Качание рычагов и прижатие верхних роликов к движущейся заготовке (и к затравке при запуске МНЛЗ) осуществляется гидроцилиндрами, в которые встроены путевые датчики. Расположение роликов выбрано таким образом, что первая (по ходу движения заготовки) пара роликов контактирует с заготовкой, имеющей кривизну базового радиуса (например 7м), а вторая - с прямолинейной заготовкой [3].

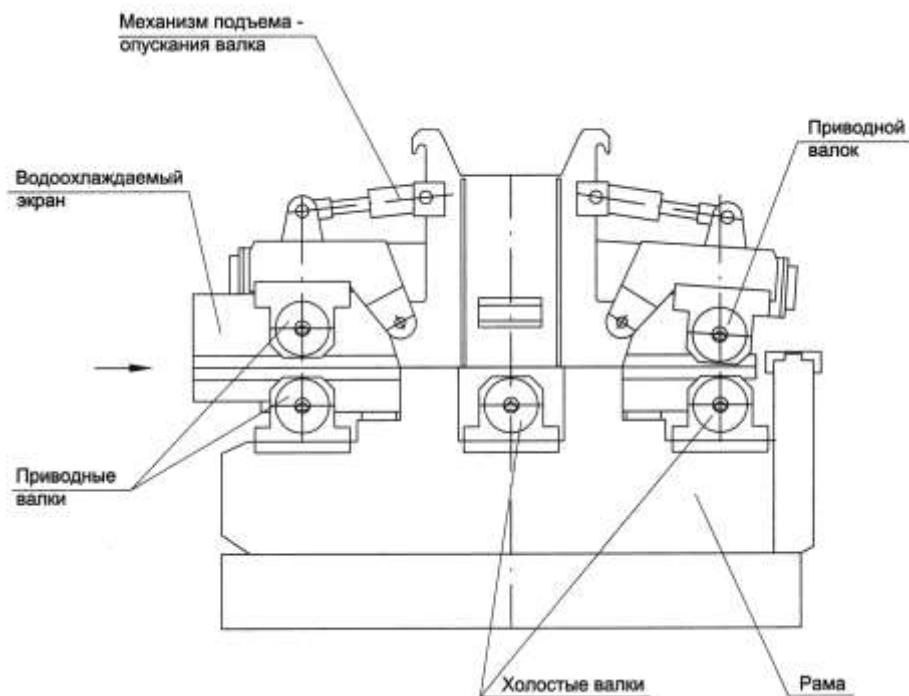


Рисунок 9 – Тянуще-правильный агрегат

При движении заготовки от первой пары к второй происходит непрерывное выпрямление заготовки. Причем за счет наличия среднего опорного ролика выпрямление происходит в два этапа:

— между первой парой и опорным роликом - с кривизны базового радиуса (7метров) до кривизны промежуточного радиуса (14метров). Зона перегиба находится на первом нижнем ролике;

— между опорным роликом и второй парой роликов - с кривизны промежуточного радиуса до прямолинейной заготовки. Зона перегиба находится на

опорном ролике. Усилие правки создается гидроцилиндром путем прижима заготовки верхним приводным роликом к нижнему холостому ролику.

В опорной раме клетки, со стороны транспортного рольганга, установлен механизм отделения заправки от заготовки, представляющий собой холостой ролик на рычаге, имеющем возможность поворота на шарнирах в опорной раме таким образом, чтобы образующая ролика в крайних положениях была выше и ниже образующей последнего нижнего ролика клетки (выше и ниже уровня движения заготовки). Поворот рычага осуществляется гидроцилиндром, крайние положения ролика контролируются конечными выключателями.

Во всех трех гидроцилиндрах, установленных на клетки (двух гидроцилиндрах качания рычагов верхних роликов и гидроцилиндре механизма отделения заправки), предусмотрена возможность дистанционного регулирования давления. Кроме того, для гидроцилиндра механизма отделения заправки, предусмотрен режим работы на низком давлении (около 0,4 МПа), подаваемом в обе полости цилиндра одновременно. Также, для установки оптимальной величины подъема ролика механизма отделения заправки над уровнем движения заготовки, предусмотрена регулировка хода цилиндра посредством ограничения поворота рычага механизмом регулировочным болтом, расположенным на опорной раме.

Внутри клетки между стенками рамы и верхней стойки расположен водоохлаждаемый кожух, закрывающий заготовку с четырех сторон за исключением проемов, в которых расположены ролики. Кожух выполнен разъемным из трех секций. Каждая секция представляет собой сварную трубчатую конструкцию из прямоугольных труб, по которым циркулирует вода. Кожух служит для защиты конструкций клетки от нагревания тепловым излучением заготовки.

На выходе из клетки установлены боковые линейки для направления заготовки по оси ручья и предохранения боковых стенок кожуха от контакта с движущейся заготовкой. Боковые поверхности линеек, которые могут контактировать с заготовкой, наплавлены износостойким термостойким сплавом.

Ролики и корпуса подшипников роликов имеют внутреннее проточное водяное охлаждение. Также предусмотрено проточное водяное охлаждение электродвигателей и масляных ванн редукторов. Бочки роликов наплавлены износостойким термостойким сплавом.

Редукторы привода верхних роликов установлены непосредственно на хвостовиках приводных роликов (хвостовик ролика вставляется в полый тихоходный вал редуктора) и от проворачивания зафиксированы тягами, шарнирно прикрепленными одним концом к редуктору, а другим — к верхней стойке клетки. Длина и места крепления тяг выбраны таким образом, чтобы при повороте рычагов (при подъеме роликов) редукторы совершали плоско-параллельное перемещение без наклона редуктора (независимо от угла поворота ры-

чага). Редуктор привода нижнего ролика также установлен на хвостовике приводного ролика и зафиксирован от проворачивания серьгой, прикрепляемой к боковой стенке рамы.



Рисунок 10 – ТПА на МНЛЗ 3,4 ПАО «ЧМК»

Тянуще-правильная машина, входящая в состав приводной роликовой проводки МНЛЗ, приведена на рисунке 3.

Машина состоит из трех отдельных роликовых секций, примыкающих друг к другу и установленных на фундаментные балки 8.

Первая секция по ходу слитка предназначена для его правки, вторая и третья секции – для создания тянущего усилия и выдачи слитка на приемный рольганг. В каждой секции установлены два ряда роликов – верхних 5 и нижних 6. Ролики верхнего ряда, за исключением трех в первой секции, неприводные.

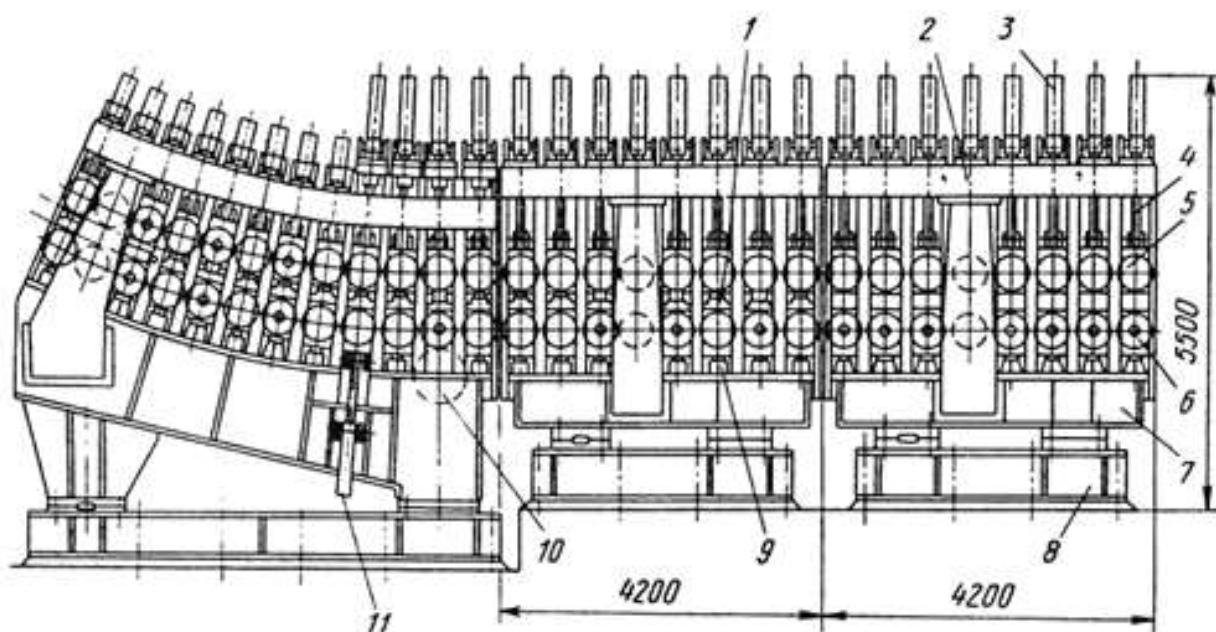


Рисунок 11 – Тянуще-правильная машина, входящая в состав приводной роликовой проводки МНЛЗ

В первой и во второй секциях нижние приводные ролики чередуются через один - три с не приводными (на рисунке приводные ролики обозначены кружками). В третьей секции все нижние ролики приводные, что диктуется необходимостью получения значительного тянущего усилия для перемещения и выдачи затвердевшего слитка на рольганг. Поскольку нижний ролик, расположенный в месте перехода радиальной части в горизонтальную при правке слитка подвержен действию максимальной нагрузки, предусмотрена установка опорного ролика 10 большого диаметра, прижимаемого двумя гидроцилиндрами к рабочему ролику. С целью предохранения от поломки нижних роликов первой и второй секции при возможных перегрузках в их опорных узлах установлены короткоходовые гидроцилиндры 9. Для лучшего манипулирования при выдаче порезанных кусков слитка в аварийной ситуации один из нижних роликов на переходном участке выполнен подвижным. Его вертикальное перемещение осуществляется двумя гидроцилиндрами 11.

Подушки подшипников верхних и нижних роликов помещены между стойками станины 7. Каждый верхний ролик перемещается по нормали к технологической оси и прижимается к слитку двумя гидроцилиндрами 3, шток 4 которых шарнирно соединен с подушками подшипников. Расстояние между роликами в первых двух секциях регулируют сменными прокладками 1. Стойки станины в верхней части связаны продольными балками 2, расположенными с обеих сторон. Конструкция станины обеспечивает быструю замену рабочих роликов поузловым методом.

Поперечный разрез тянуще-правильной машины приведен на рисунке 4. Приводы секций роликовой проводки и тянуще-правильной машины унифицированы и состоят из электродвигателя постоянного тока мощностью 5,5 кВт,

планетарного редуктора с цилиндрическими колесами и шпинделя с универсальными шарнирами Гука. Применение последних обусловлено необходимостью быстрого соединения и разъединения ролика с приводом. Максимальный крутящий момент на выходном валу редуктора 25 кН·м.

Скорость вытягивания заготовки регулируется посредством изменения частоты вращения электродвигателей в диапазоне 0-3 м/мин, а ввод заправки – со скоростью 4,5 м/мин. Основными недостатками такой конструкции тянуще-правильной машины являются: большое число гидроцилиндров, требующих большого количества шлангов высокого давления; недостаточная унификация узлов проводки; большая перегрузка роликов при выходе слитка с заниженной температурой.

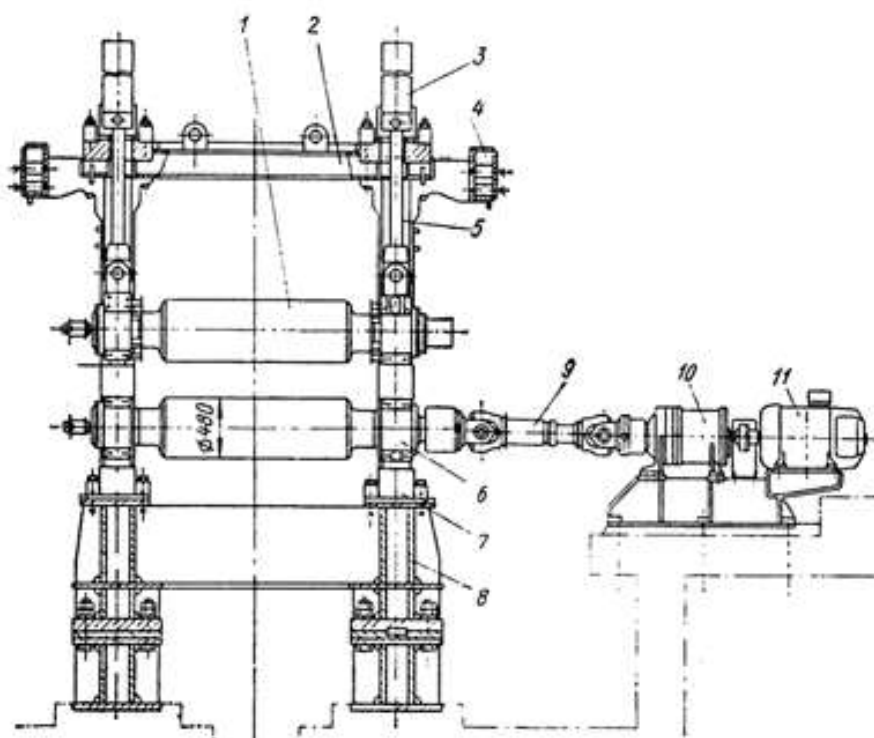


Рисунок 12 – Поперечный разрез тянуще-правильной машины: 1 – верхний неприводной ролик; 2 – поперечные связи; 3 – гидроцилиндры перемещения и прижатия роликов; 4 – продольные балки; 5 – стойки; 6 – нижний ролик; 7 – опорные гидроцилиндры; 8 – станина; 9 – шпиндель с шарнирами Гука; 10 – планетарный редуктор; 11 – электродвигатель.

2.3 Литейно-прокатные агрегаты

Одним из направлений совершенствования процессов производства проката в настоящее время является создание литейно-прокатных агрегатов. В состав такого агрегата входят: машина непрерывного литья заготовок (блужащая, слябовая или сортовая) устройства для передачи непрерывнолитой заготовки, печь для подогрева и непосредственно прокатный стан (соответствующего типа) со всем технологическим оборудованием [6].

При применении такой технологии удаётся практически полностью использовать первичную теплоту непрерывнолитой заготовки для ее деформации, что существенно экономит энергоресурсы на нагрев. Также исключается промежуточное складирование заготовок, что значительно повышает производительность стана (до 25%) и эффективность использования оборудования.

Еще одним преимуществом литейно-прокатных агрегатов является компактное расположение оборудования, что требует меньших производственных площадей и капитальных затрат на строительство (до 1,5 раза).

Следует также отметить, что обжатие литого металла в таком совмещенном процессе способствует улучшению качества поверхности и структуры литых заготовок. При совмещении процессов разлива и прокатки снижается себестоимость проката благодаря повышению выхода годного (на 2%) и сокращению расходов по переделу.

На литейно-прокатных агрегатах можно получить заготовки различных профилей, в том числе малых сечений без снижения производительности завода, так как сталь разливают в кристаллизатор одного наиболее выгодного размера, под который разработаны все схемы калибровок прокатного стана.

Однако в вопросе совмещения МНЛЗ и прокатного стана существует ряд проблем, таких как согласование скоростей непрерывной разлива и входа металла в первую клетку прокатного стана, которые различаются в несколько раз, а также вопросы обеспечения высокого качества непрерывнолитой заготовки в связи с отсутствием возможности его регулирования на стыке этих двух агрегатов.

Решение вопроса согласования скоростей разлива и входа металла в первую клетку стана обусловило появление нескольких возможных вариантов схем состыковки этих двух агрегатов:

1. прямая состыковка с резкой слитка перед задачей в проходную печь (или без резки);
2. состыковка с использованием устройств для интенсивной пластической деформации (планетарные клетки и т.д.) в первом проходе;
3. состыковка с использованием высокоскоростных МНЛЗ: валковых, ленточных, роторных и т.д.;
4. состыковка сортового стана с слябовой МНЛЗ с поперечной резкой сляба на заготовки или прокаткой сляба «на ребро».

2.3.1 Сортовой ЛПА завода «Luna»

Одним из сданных в эксплуатацию ЛПА для производства круглых и квадратных профилей является ЛПА, разработанный фирмой «Danieli» (Италия) и построенный на заводе «Luna» фирмы «Acciaierie Bertoli Safau» («ABS») в Удине (Италия). ЛПА производит: круглые профили диаметром 2...100 мм и квадратные со стороной 40...100 мм — в прутках; круглые профили диаметром 15...50 мм — в бунтах. Годовая производительность — 500 тыс. т.

Схема расположения оборудования ЛПА показана на рисунке 13. В ЛПА используется двухручьева МНЛЗ (расстояние между ручьями два метра, номинальный радиус изгиба 9 м). МНЛЗ может работать на два или один ручей, в зависимости от требуемого объема производства.

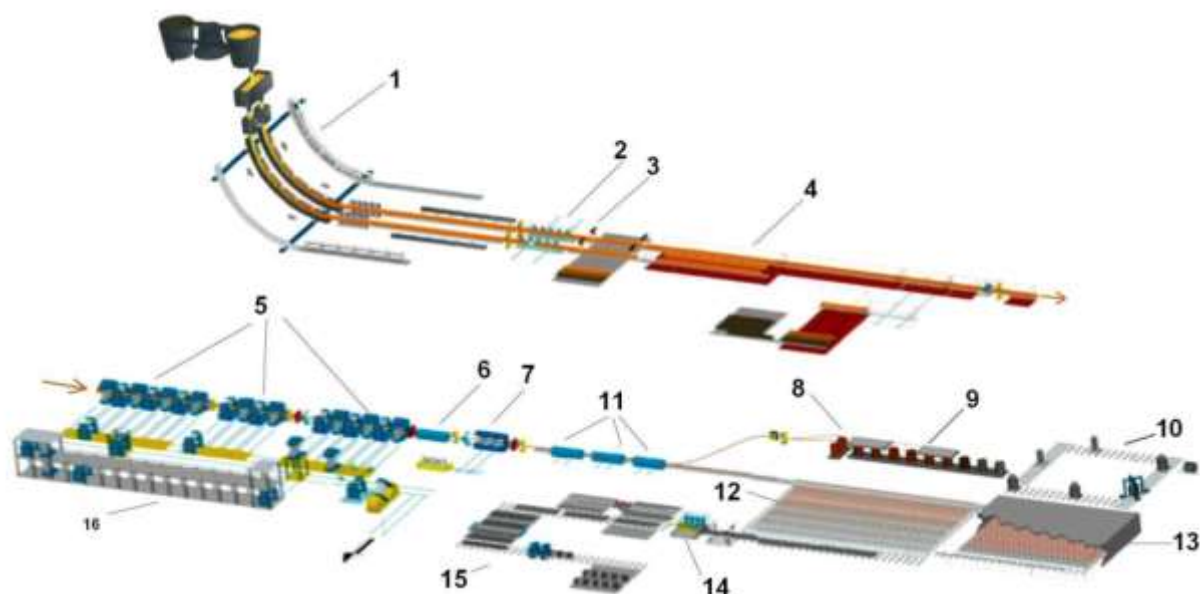


Рисунок 13 – Схема расположения оборудования ЛПА фирмы ABS в Удине: 1 — МНЛЗ; 2 — закалочные камеры; 3 — ножницы; 4 — тоннельная печь; 5 — черновая, промежуточная и чистовая группы клетей прокатного стана; 6 — линия охлаждения; 7 — редуционно-калибровочный блок; 8 — моталки; 9 — печь отжига бунтов; 10 — участок обработки бунтов; 11 — участок окончательного охлаждения; 12 — холодильник; 13 — печь отжига; 14 — установка механического удаления окалины; 15 — участок отделки прутков, 16 – участок смены и обслуживания клетей

Непосредственно за МНЛЗ установлены закалочные камеры, поскольку без промежуточной закалки невозможно выполнять прямую прокатку цементируемой и раскисленной алюминием низко- и среднеуглеродистой стали. Далее следуют ножницы для порезки непрерывного слитка.

Между МНЛЗ и прокатным станом расположена роликовая тоннельная печь общей длиной 125 м, которая имеет две секции и используется для выравнивания температуры, как в поперечном сечении, так и по длине непрерывнолитого бьюма.

ЛПА может работать в двух режимах: бесконечном и полубесконечном. При использовании бесконечного режима длина заготовки может изменяться от 14 м и до бесконечности без какой-либо разделительной резки между машиной непрерывного литья и прокатным станом, что обеспечивает бесконечную прокатку через проходную печь. В этом случае работает только один ручей МНЛЗ.

При использовании полубесконечного режима одновременно работают оба ручья МНЛЗ, а непрерывнолитые бьюмы режутся на длину 45 м и поочередно

посылаются в проходную печь. В этом случае печь действует и в качестве буфера между МНЛЗ и прокатным станом.

2.3.2 Одноручьевого агрегат

Схема одноручьевого агрегата CSP показана на рисунке 14. На МНЛЗ вертикального типа с изгибом сляба вниз на 90° получают тонкие (толщиной 50 мм) слябы.

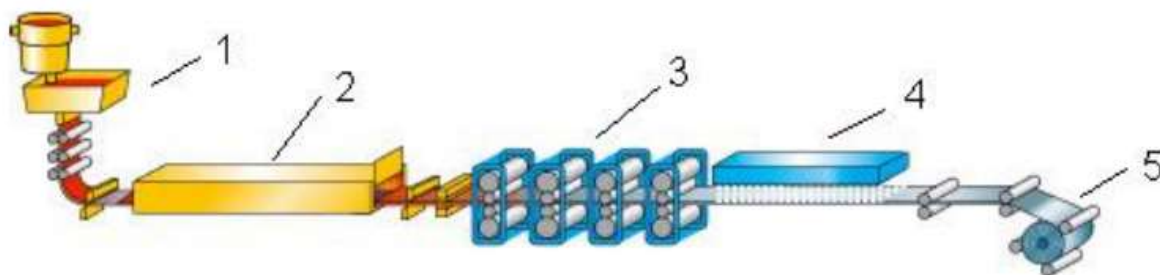


Рисунок 14 – Одноручьевого агрегат CSP прямой прокатки полосы: 1- МНЛЗ; 2-проходная печь; 3-прокатный стан; 4-участок охлаждения; 5-моталка

Заготовка, выходящая из МНЛЗ со скоростью 5,5 м/мин, с помощью маятниковых ножниц разрезается на слябы заданной длины, которые подаются с постоянной скоростью в роликовую печь. Роликовая печь имеет две зоны: зону нагрева и зону выдержки для выравнивания температуры по сечению.

После выхода из печи сляб разгоняется до скорости подачи в первую клетку прокатного стана. Перед прокаткой заготовку очищают от окалины гидросбивом.

Прокатный стан в базовом варианте состоит из 4-х клеток и обеспечивает обжатие в отдельных проходах до 70%. Благодаря этому для всех легкодеформируемых сталей при ширине сляба менее 1350 мм прокатка лишь в четырех клетках обеспечивает достижение минимальной конечной толщины полосы 2,3 мм.

При большей ширине или для достижения меньшей толщины полосы необходимо увеличить число клеток. Например, в настоящее время в составе ЛПА с технологией CSP применяются и 6-ти клетьевые прокатные станы, которые могут обеспечить минимальную толщину прокатанной полосы 1...1,2 мм.

После выхода из последней прокатной клетки полоса попадает в установку ускоренного охлаждения и сматывается на моталке.

2.3.3 Литейно-прокатный агрегат СВР для производства балок

На основе технологии CSP фирмой SMS Meer разработан агрегат компактного производства балок СВР (Compact Beam Production) изображенный на рисунке 15. По технологии СВР на МНЛЗ отливают не прямоугольную заготовку, а заготовку балочного профиля (см. профиль в кружке после МНЛЗ).

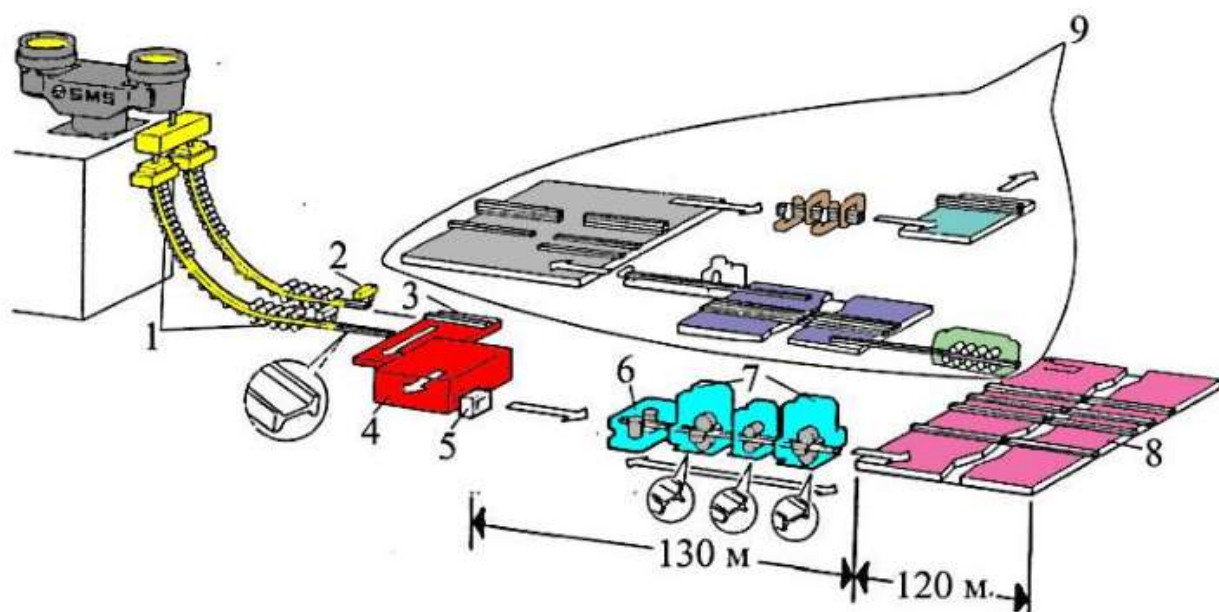


Рисунок 15 – Схемы размещения основного оборудования технологических линий для производства балок по технологии СВР (а) и по традиционной технологии (б): 1 – МНЛЗ; 2 – установки для порезки слябов; 3 – устройство совмещения двух потоков слябов в один; 4 – нагревательные печи; 5 – гидросбивы; 6 – черновая вертикальная клеть; 7 – реверсивная группа клетей; 8 – холодильники; 9 – адьюстаж

На двухручьевой МНЛЗ отливаются балочные заготовки трех сечений (высота \times ширина \times толщина перемычки): $465 \times 550 \times 150$ мм; $400 \times 820 \times 110$ мм и $450 \times 1100 \times 120$ мм, длиной 4...12 м. Производительность агрегата 160...200 т/ч.

В качестве черновой клетки используется небольших размеров клеть с вертикальными валами, предназначенная для обжатия высоты стенки заготовки в первом проходе. В реверсивной непрерывной группе имеется либо две, либо три клетки: две универсальных и одна горизонтальная промежуточная. В первом случае имеется чистовая отдельно стоящая клеть, во втором случае отдельно стоящей чистовой клетки нет.

3 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ КОМПЛЕКСА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ ФАСОННОЙ ЗАГОТОВКИ

3.1. Проектирование участка

Для обеспечения непрерывно литой заготовкой рельсобалочный стан, предлагается использование фасонной непрерывнолитой заготовкой. Для снижения расходов по переделу с исключением повторного нагрева заготовки, исключения блюминга и снижение количества проходов на участке обжимной клетки, предлагается установить новую машину в производственном корпусе рельсобалочного стана (рисунок 16).

Машина непрерывного литья заготовок предназначена для непрерывной разливки стали в фасонные заготовки для рельсобалочного стана ПАО «ЧМК». Это 4-х пролетное здание, пристроенное к производственному корпусу рельсобалочного цеха.

Пролет Г1-В1 оборудован холодильником с шагающими балками и разгрузочным рольгангом, накопительные стеллажи и накопительный отстойник. В пролете работает пратцен-кран $Q=16$ т, №44.

Пролет В1-Б1 оборудован тупиковыми ж/д путями для отгрузки отходов из бункера, после разборки футеровки промковшей. В пролете расположена 4-х ручьевая МНЛЗ, с кристаллизаторами, механизмами качания, криволинейными и горизонтальными рольгангами с душирующими установками, тянуще-правильными агрегатами, устройствами для задачи затравок в кристаллизаторы с пневматическими толкателями, рольгангами, машиной газовой резки заготовок, передаточной тележкой. В пролете работают электромостовые краны №38, 37, $Q=80/20$ т.

В пролете Б1-А1 работает литейный кран №35, $Q=245/63/20$ т, с помощью которых сталь ковш с жидким металлом устанавливается на стенд агрегата печь-ковш и после комплексной обработки стали транспортируется и устанавливается на подъемно-поворотный стенд МНЛЗ-5.

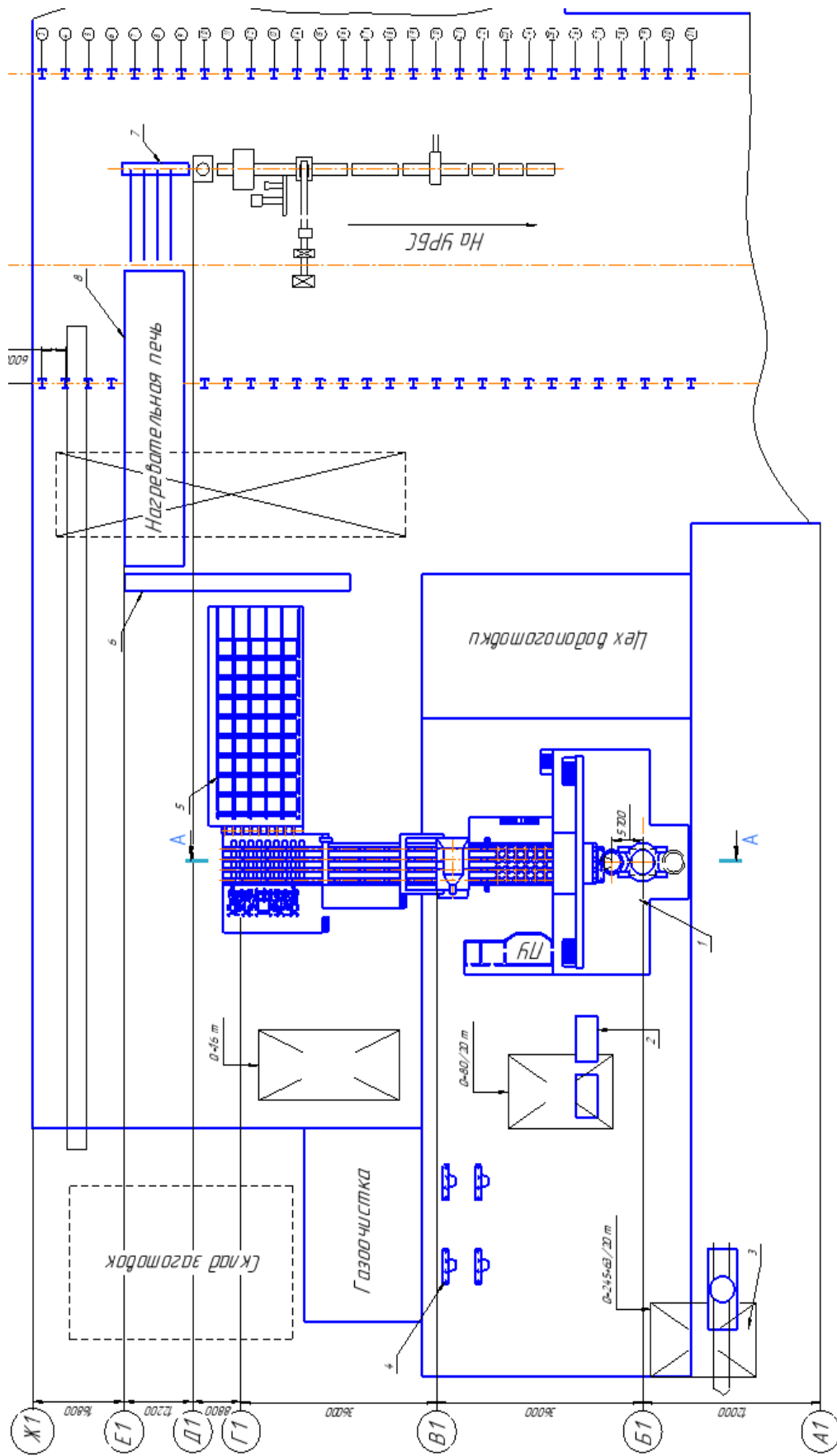


Рисунок 16 – Участок непрерывной разливки фасонной заготовки

3.2 Оценка необходимой формы и габаритов заготовки для обеспечения рельсобалочного стана ПАО «ЧМК»

Балочная заготовка – БЗ (рисунок 16)

Площадь поверхности: 77'776 мм²

Вес погонного метра: 610,0 кг

(холодная сталь $\rho = 7'850$ кг/м³)

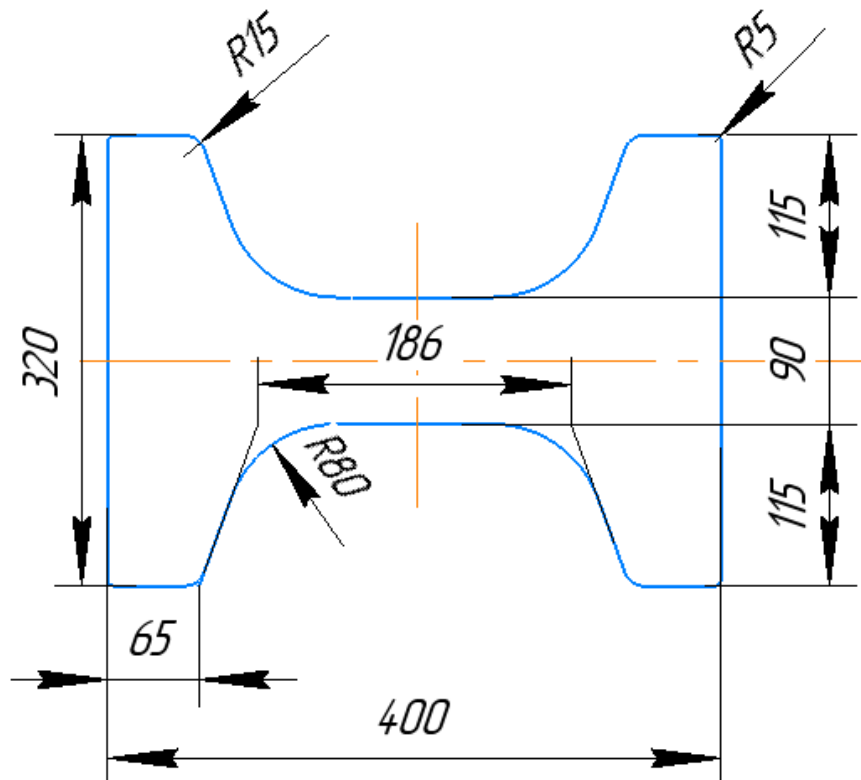


Рисунок 17 – Сечение балочной заготовки

3.3 Разработка модели кристаллизатора

Цилиндрический опорный корпус кристаллизатора дает универсальное поддержание, самоуплотнение и самоцентрирование для вставки кристаллизатора для всех сечений литой заготовки и устанавливается на стол механизма качания кристаллизатора.

3.3.1 Трубчатая гильза кристаллизатора

Для разливки балочной заготовки применяются трубчатые гильзы кристаллизатора (рисунок 18). Длина гильзы кристаллизатора данной балочного кристаллизатора будет 800 мм.



Рисунок 18 – Трубчатая гильза кристаллизатора

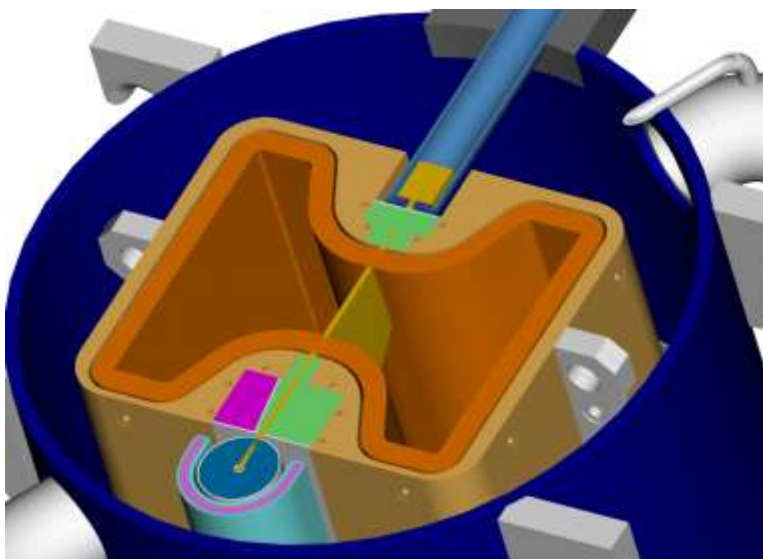


Рисунок 19 – Положение гильзы в кристаллизаторе

3.4 Опорно-направляющая система

На МНЛЗ для разливки блюмов и балочных заготовок требуется тщательно поддерживать ручей после его выхода из кристаллизатора с целью предотвращения выпуклости или других видов деформации.

Направляющая система ручья сконструирована в виде ряда кассетных сегментов. Каждый сегмент оснащается узлом валиков. Валики установлены в регулируемых опорах для их точного выравнивания. Констр обор системой охлажд подш узл.



Рисунок 20 – Опорно-направляющая система

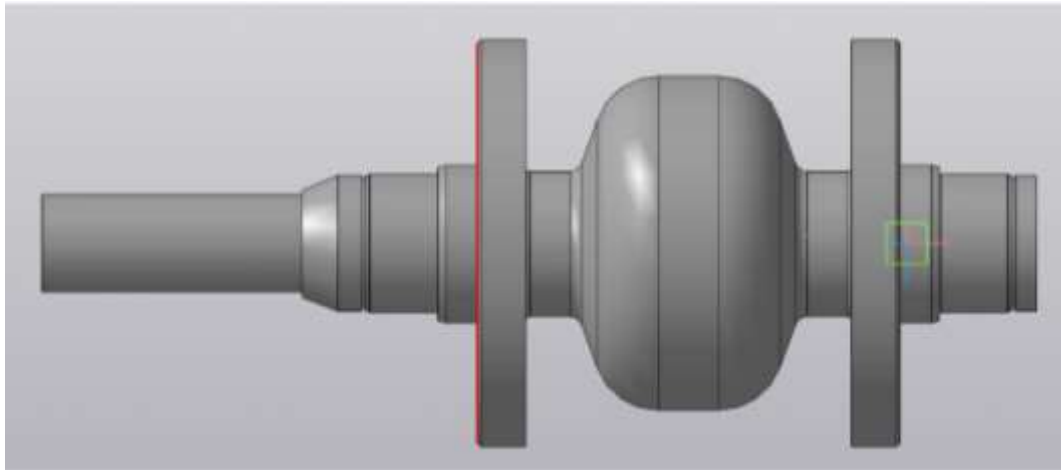


Рисунок 22 – ролик ТПА

4 ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДА. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПРИВОДА

Скорость разливки составляет $v=0,5$ м/м, вес погонного метра $m = 610$ кг, длина заготовки $l = 10$ м.

В ТПА на МНЛЗ-5 установлен редуктор BREVINI BRH425K7 595,47.

Определим мощность электродвигателя:

[1] Мощность привода равна:

$$N = F_t * v / \eta \quad (1);$$

где N - мощность привода, Вт;

F_t – тяговое усилие, Н;

v – скорость разливки, м/мин;

η – КПД привода, $\eta = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,8945$

$\eta_k = 0,96$ – КПД конической зубчатой передачи;

$\eta_{ц} = 0,97$ – КПД цилиндрической зубчатой передачи;

$\eta_{п} = 0,99$ – КПД одной пары подшипников качения;

Определяем тяговое усилие по формуле:

$$F_t = F_{тр} * k_1 * k_2 \quad (2);$$

где $F_{тр}$ – сила трения затвердевающей заготовки о стенки в радиальном кристаллизаторе, Н;

k_1 – коэффициент, учитывающий степень приработки кристаллизатора, $k_1=1,5$

k_2 – коэффициент, учитывающий химический состав стали, $k_2=1,8$.

Силу трения затвердевающей заготовки о стенки в радиальном кристаллизаторе рассчитываем по формуле:

$$F_{тр} = \mu * V * \rho * R^2 \quad (3);$$

где μ – коэффициент трения затвердевающего металла о стенки кристаллизатора ; $\mu = 0,5$;

V – периметр сечения заготовки, $V=0,875$ м;

ρ – плотность жидкой стали, $\rho=7000$ кг/м³;

R – радиус кристаллизатора, $R=3$ м;

Подставляя данные в (3), получим:

$$F_{\text{тр}} = 0,5 * 0,875 * 7000 * 9 = 27562,5 \text{ кгс} = 270112,5 \text{ Н};$$

Подставляя данные в (2), получим:

$$F_t = 270112,5 * 1,5 * 1,8 = 729303,75 \text{ Н};$$

Подставляя данные в (1), получим:

$$N = \frac{729303,75 * 0,0083}{0,8945} = 6828,7 \text{ Вт}.$$

В каталоге выбираем двигатель асинхронный ИЕС MS132М-4, мощность 7,5 кВт, частота вращения 1440 об/мин.

4.1 Расчет на прочность вала клетки ТПА

Нам известно давление в цилиндре, $P = 60 \text{ бар} = 6 * 10^6 \text{ Н/м}^2$, а так же диаметр штока $D = 200 \text{ мм}$.

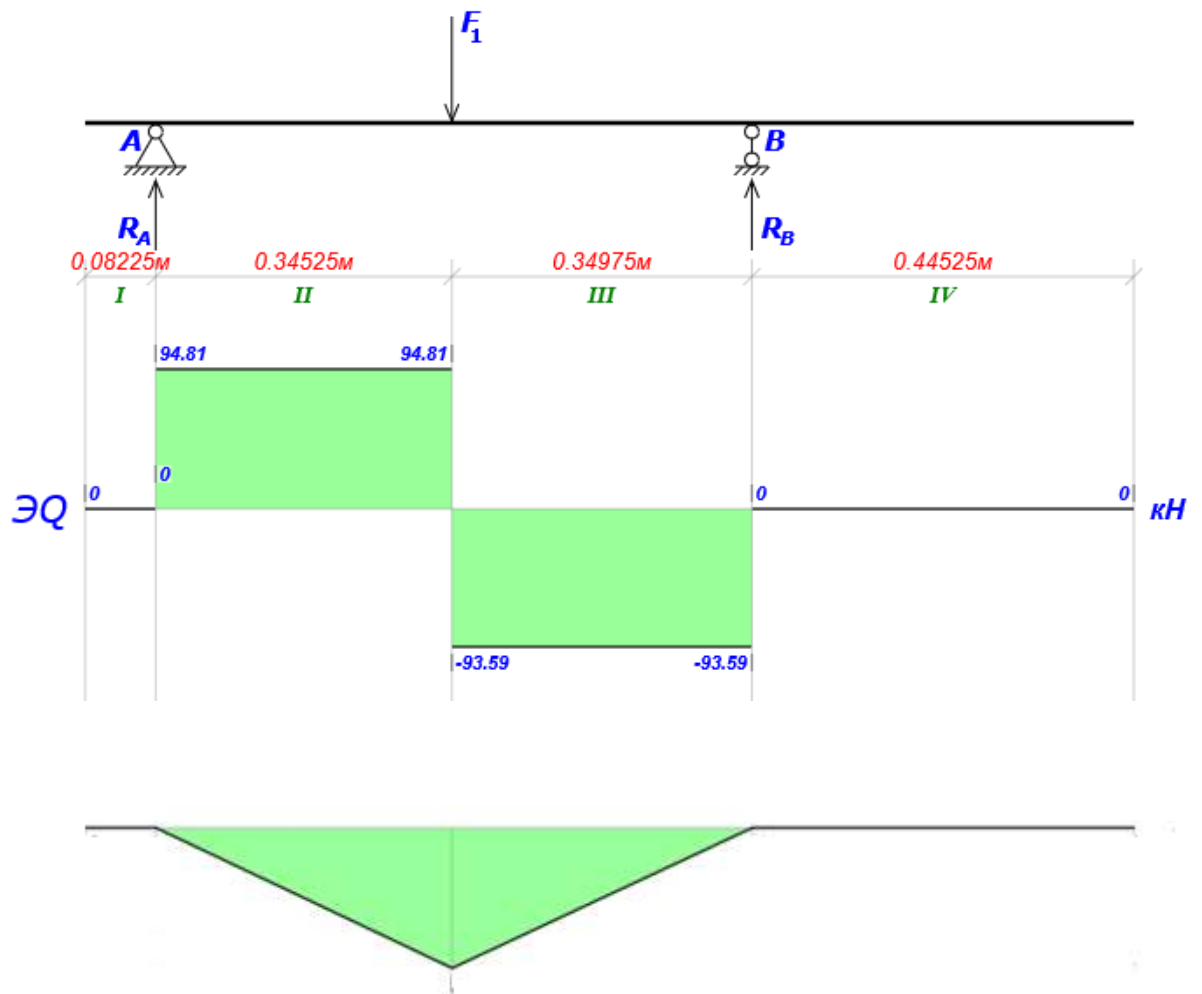
Найдем площадь поверхности, на которую давит гидроцилиндр:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} = 31400 \text{ мм}^2 = 0,0314 \text{ м}^2 \quad (4);$$

Зная площадь и давление в цилиндре находим силу, с которой цилиндр давит на ролик:

$$F = P * S = 6 * 10^6 * 0,0314 = 188400 \text{ Н} \quad (5);$$

Выполним расчет на прочность



Сумма моментов всех сил относительно точки В должна равняться нулю:

$$\sum M_B = -R_A(L - L_1 - L_2) + \sum q_i(b_i - a_i)(2L - 2L_2 - a_i - b_i)/2 + \sum F_i(L - L_2 - c_i) - \sum M_i = -R_A(L - L_1 - L_2) + F_1(L - L_2 - c_1) = -R_A \cdot (1.2225 - 0.08225 - 0.44525) + 188.4 \cdot (1.2225 - 0.44525 - 0.4275) = -R_A \cdot 0.695 + 188.4 \cdot 0.34975 = -R_A \cdot 0.695 + 65.8929 = 0 \Rightarrow R_A = 65.8929/0.695 = 94.8099 \text{ кН};$$

Сумма моментов всех сил относительно точки А должна равняться нулю:

$$\begin{aligned} \sum M_A &= R_B(L - L_1 - L_2) - \sum q_i(b_i - a_i)(a_i + b_i - 2L_1)/2 - \sum F_i(c_i - L_1) - \sum M_i = \\ &= R_B(L - L_1 - L_2) - F_1(c_1 - L_1) = R_B \cdot (1.2225 - 0.08225 - 0.44525) - 188.4 \cdot (0.4275 - 0.08225) = \\ &= R_B \cdot 0.695 - 188.4 \cdot 0.34525 = R_B \cdot 0.695 - 65.0451 = 0 \Rightarrow R_B = 65.0451/0.695 = 93.5901 \text{ кН}; \end{aligned}$$

Для проверки вычислим сумму проекций всех сил на вертикальную ось:

$$\sum Y = R_A + R_B - \sum q_i(b_i - a_i) - \sum F_i = R_A + R_B - F_1 = 94.8099 + 93.5901 - 188.4 = 0;$$

Имеем: максимальный изгибающий момент $M=33$ кНм; допускаемы нормальные напряжения $\sigma = 560$ МПа

Нормальные напряжения при изгибе определяются по формуле Навье:

$$\sigma = \frac{M_x}{J_x} y \quad (6);$$

Если рассматривать напряжения в крайней точке сечения, то они равны:

$$\sigma_{max} = \frac{M_x}{J_x} y_{max} = \frac{M_x}{W_x} \quad (7);$$

Поэтому, условие прочности при изгибе:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad (8);$$

где W – осевой момент сопротивления круга, $W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 20,5^3}{32} = 846$ см³.

Если момент в Ньютонах на метр (Нм), а момент сопротивления в см³, напряжения получатся в Мегапаскалях (МПа).

Для нашего случая:

$$\sigma = \frac{33000}{846} = 39 \text{ МПа} < [\sigma] = 560 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

5 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ

5.1 Тянуще-правильный агрегат

Назначение: вытягивание и выпрямление литого ручья, а так же введение затравки.

Конструкция: 7 модулей по каждому ручью; тянуще-правильный узел в виде качающегося рычага с прижимным верхним роликом, вращение которого происходит через мотор-редуктор.

Принцип работы: Тянуще правильные блоки находятся сразу после охлаждающей камеры на направляющем криволинейном секторе.

Система имеет двойное назначение:

- для перемещения затравки в кристаллизатор, в фазе подъема;
- обеспечение постоянного сжатия и выравнивания заготовки выходящей из охлаждающей камеры.

Для надлежащего выравнивания, чтобы не образовывались трещины и другие дефекты, заготовка должна прибывать в эту зону с заданной температурой (900-1000°C).

Температура, таким, образом, является важным параметром для контроля правильных операций и, следовательно, для обеспечения качества производимой заготовки.

Тянуще правильный ролик воздействует на внутреннюю сторону заготовки: рабочее давление ролика, действующее на заготовку, создается работой гидравлического цилиндра.

Каждый блок состоит из пары роликов: нижнего свободно вращающегося ролика и верхнего приводного ролика.

Верхний ролик приводятся в действие и управляется гидравлическим цилиндром.

Ролик приводятся в движение с помощью мотор-редуктора.

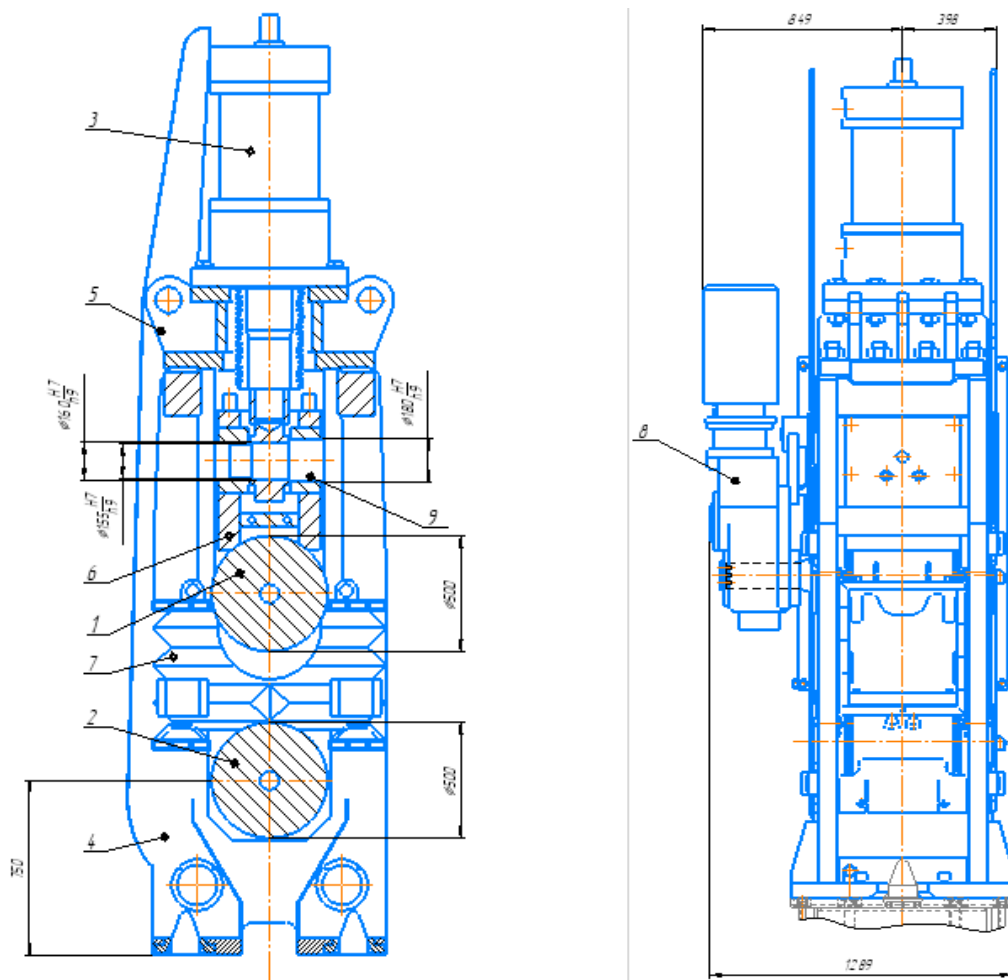


Рисунок 23 – Конструкция ТПА: 1 – приводной ролик; 2 - холостой ролик; 3 – гидроцилиндр; 4 – станина; 5 – фланец; 6 – прижимной механизм; 7 – рубашка охлаждения; 8 – мотор-редуктор; 9 – палец гидроцилиндра

5.2 Кристаллизатор

Назначением кристаллизатора является прием струи жидкой стали, выливаемой с промежуточного ковша, расположенного сверху, и застывание при помощи охлаждения с промежуточным холодоносителем циркуляцией воды.

Гильза кристаллизатора изготовлена из чистой меди, которая является отличным теплопроводником, обеспечивающая передачу к окружающей жидкости большого количества тепла, чем при использовании других металлов.

Трубчатый медный элемент содержится в подходящем металлическом кожухе (чугунный распределитель) в котором подается в пространство между внешней стенкой кристаллизатора и внутренней частью распределителя воды.

Гильза кристаллизатора внутри покрыта хромом 0.01мм, данный тип футеровки обеспечивает гладкую и прочную поверхность, которая уменьшает трение и увеличивает срок службы гильзы кристаллизатора.

Охлаждение заготовки в кристаллизаторе относится к первичному охлаждению, поток воды в плоскости поступает с низу вверх.

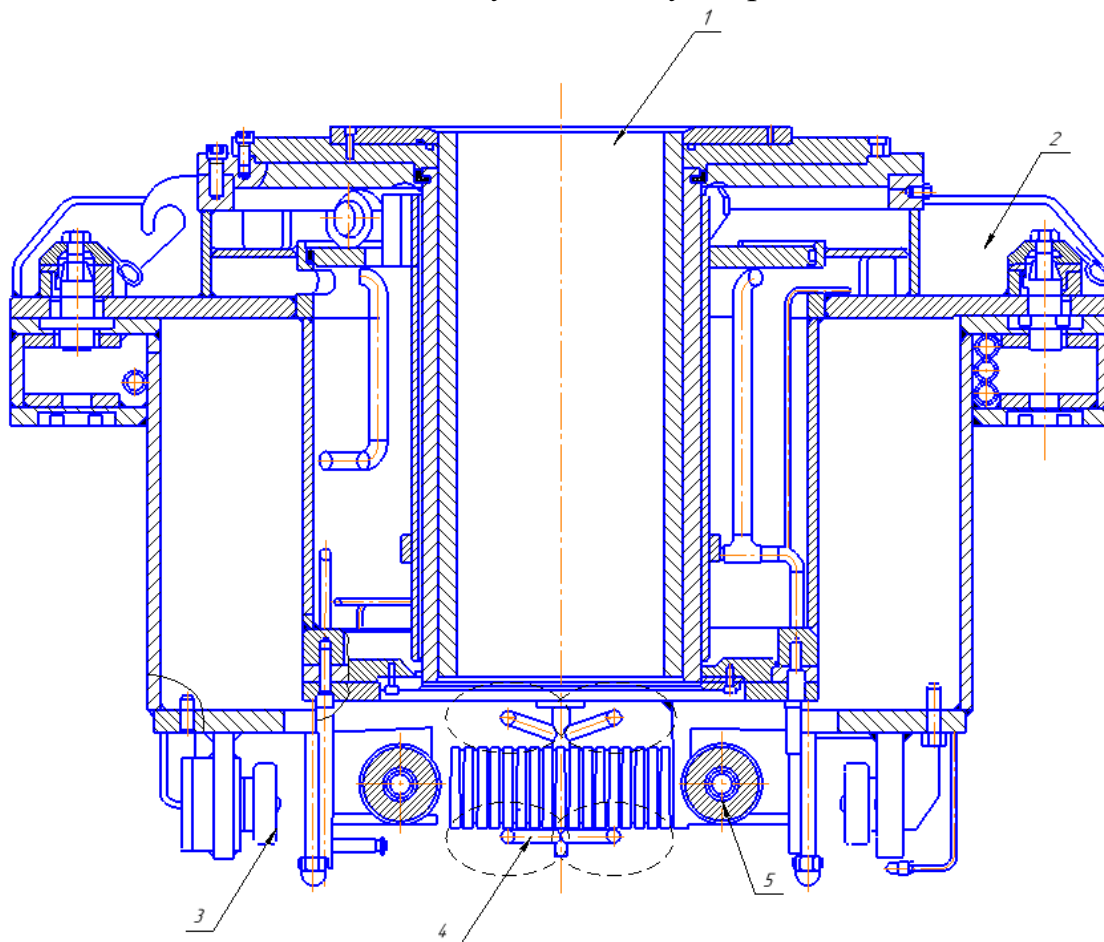


Рисунок 24 – Кристаллизатор: 1 – гильза; 2 – кристаллизатор; 3 – направляющие ролики; 4 – коллектора; 5 – нижний фланец

6 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

- разливка стали в автоматическом режиме
- предоставление обслуживающему персоналу полного объема необходимой информации
- АСУ ТП – двухуровневая иерархическая [4]:

1) базисный уровень (уровень 1): связь с объектами управления; измерение, хранение, накопление и анализ параметров технологического процесса

2) верхний уровень (уровень 2): оптимальное управление процессом по математическим моделям визуализация процесса архивирование и протоколирование процесса.

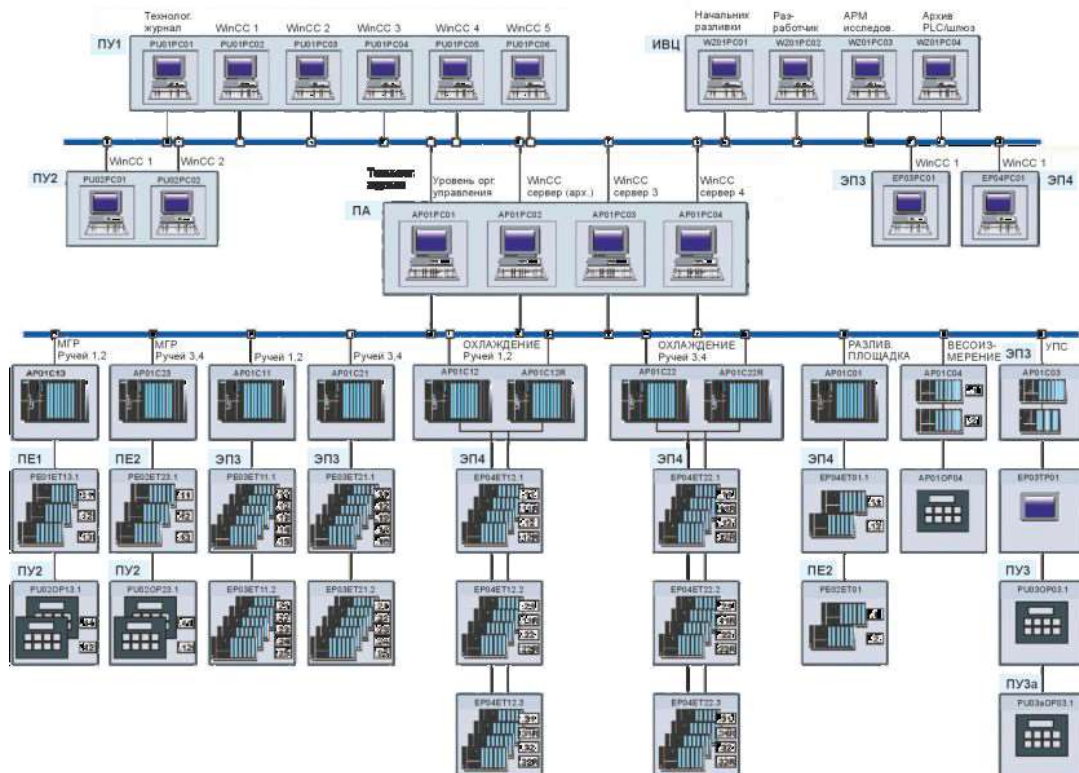


Рисунок 25 – АСУ ТП МНЛЗ

Базисный уровень (уровень 1):

Обеспечивает контроль

- массы металла в стальковше
- уровня металла в промковше
- температуры жидкого металла
- уровня металла в кристаллизаторе
- параметров качания кристаллизатора
- процесса теплосъема с узких и широких стенок кристаллизатора
- процесса порезки слитка на мерные заготовки
- параметров механического и электрического оборудования
- параметров систем смазки
- нагрузки на приводах
- действий операторов по управлению технологическим процессом

- теплового режима зон вторичного охлаждения
- аварийных отклонений параметров и действия защит
- прохождения слитка через роликовый аппарат и рольганги МНЛЗ

Обеспечивает управление

- уровнем металла в промковше
- уровнем металла в кристаллизаторе
- приводом механизма качания кристаллизатора
- приводами роликов МНЛЗ
- тепловым режимом кристаллизатора
- тепловым режимом зоны вторичного охлаждения
- процессом охлаждения оборудования
- процессом порезки слитка
- работой машины газовой резки
- работой рольганга
- работой устройства передачи слябов

Верхний уровень (уровень 2)

- реализует оптимальное управление технологическим процессом по математическим моделям
- оптимизирует ритм разливки
- обеспечивает визуализацию технологического процесса
- готовит всю необходимую информацию по заготовке
- составляет документы и отчеты о разливке
- управляет охлаждением слитка в переходных процессах по модели вторичного охлаждения
- вычисляет оптимальный раскрой слитка
- архивирует информацию по МНЛЗ для длительного хранения

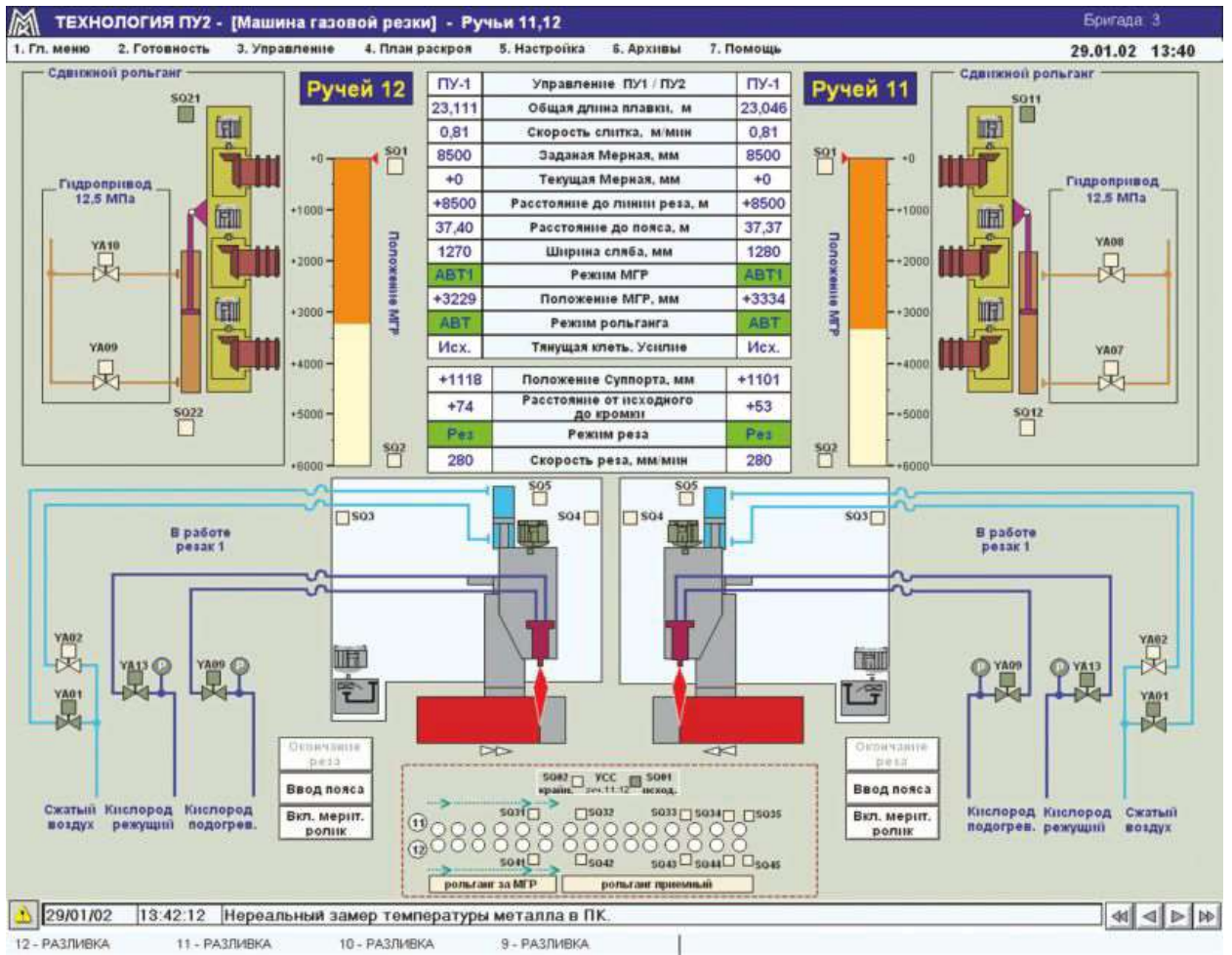


Рисунок 26 – Технология ПУ

7 СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Управляемым объектом является стопорный затвор пром. ковша МНЛЗ, имеющий гидропривод, состоящий из гидравлического цилиндра короткого хода, золотникового клапана, самого стопора и провода, подводящегося от магистральной насосной установки к золотниковому клапану. Для осуществления задачи автоматической системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе, на стенке кристаллизатора выведены и зачеканены горячие спаи термомпар [7].

7.1 Описание элементов гидропривода уравнениями типовых динамических звеньев

Стопор, гидроцилиндр и термопара являются апериодическими звеньями, так как они инерционные. Передаточные функции для них можно записать в виде:

$$W_i = \frac{K_i}{T_i \cdot p + 1} \quad (1);$$

где K_i – коэффициент передачи;

T_i – постоянная времени;

p – оператор Лапласа.

Передаточная функция термомпары:

$$W_T = \frac{K_T}{T_T \cdot p + 1} \quad (2);$$

Передаточная функция гидроцилиндра:

$$W_{ГЦ} = \frac{K_{зц}}{T_{зц} \cdot p + 1} \quad (3);$$

Передаточная функция стопора:

$$W_{СТ} = \frac{K_{см}}{T_{см} \cdot p + 1} \quad (4);$$

Кристаллизатор, золотниковый клапан и преобразовательные устройства ПУ1 и ПУ2 являются безынерционными звеньями, так как постоянная времени несоизмеримо мала по сравнению с другими элементами системы, следовательно, быстродействие несоизмеримо выше, поэтому их постоянную времени принимаем равную 0. Передаточные функции этих устройств имеют вид:

$$W_j = K_j$$

где K_j – коэффициент передачи.

7.2 Кинематическая схема гидропривода стопорного затвора

Кинематическая схема гидропривода стопорного затвора – рисунок 27.

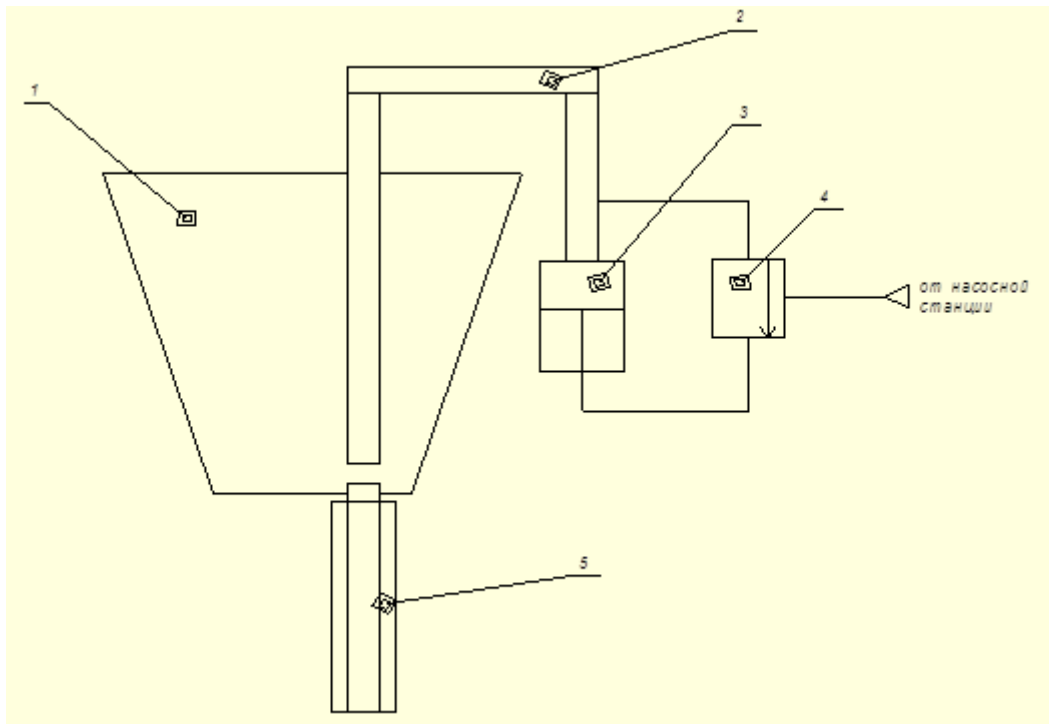


Рисунок 27 – Кинематическая схема гидропривода стопорного затвора: 1 – промежуточный ковш МНЛЗ, 2 – стопор, 3 – гидроцилиндр, 4 – золотниковый клапан, 5 – кристаллизатор.

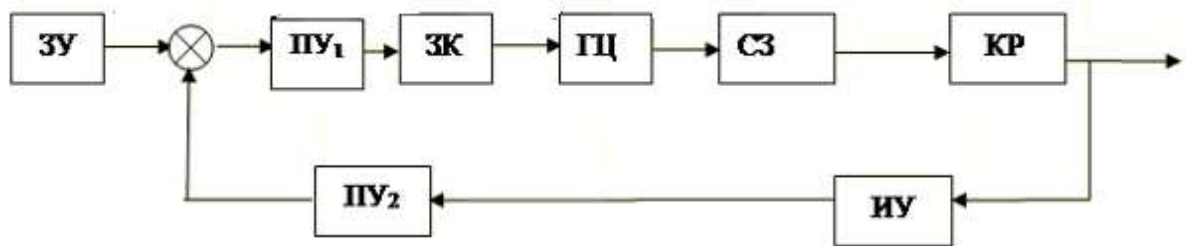


Рисунок 28 – Функциональная схема системы регулирования.

ЗУ – Задающее устройство;

ЗК – Золотниковый клапан;

ГЦ – Гидравлический цилиндр;

СЗ – Стопорный затвор;

КР – Кристаллизатор;

ИУ – Измерительное устройство;

ПУ1, ПУ2, – Преобразующее устройство.

7.3 Расчет динамических характеристик и передаточных коэффициентов элементов системы

7.3.1. Расчёт постоянных времени элементов системы.

Так как гидропривод «жёсткий», следовательно, время работы гидроцилиндра и стопора одинаково:

$$T_{гц} = T_{ст}$$

где $T_{гц}$ – постоянная времени гидроцилиндра;

$T_{ст}$ – постоянная времени стопора.

Для данной системы подходит стандартный гидроцилиндр с диаметром 200 мм и ходом плунжера 50 мм .

$$P = \frac{p \pi D^2}{4} = \frac{6,3 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 198 \text{ Н}$$

где P – усилие на штоке, Н;

p – давление масла в поршневой полости, Па;

D – диаметр плунжера, м.

Масса стопора $m = 300$ кг.

$$P = m a \quad (5);$$

$$a = \frac{P}{m} = \frac{198 \cdot 10^3}{300} = 0,66 \text{ м/с}^2$$

где a – ускорение штока.

$$S = g_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (6);$$

Так как начальная скорость штока равна нулю, следовательно формула будет иметь вид

$$S = \frac{at^2}{2};$$
$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{0,66}} = 0,38 \text{ с}$$

Следовательно, $T_{гц} = T_{ст} = 0,38$ с.

Термопара $T_t = 10$ с.

7.3.2. Расчёт передаточных коэффициентов элементов системы.

Преобразовательное устройство ПУ1

Давление масла в системе 6,3 МПа, питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В с частотой 50 Гц.

$$k_1 = \frac{P}{U} = \frac{6,3 \cdot 10^5}{220} = 2,8 * 10^4 \frac{\text{Па}}{\text{В}}$$

где P – давление масла, подаваемое на клапан, Па;

U – напряжение, В.

Золотниковый клапан $k_2 = 1$

Гидроцилиндр

$$k_3 = \frac{P}{p} = \frac{1980}{6,3 \cdot 10^5} = 3,14 * 10^{-4} \frac{\text{кгс}}{\text{Па}}$$

где P – усилие на штоке, кгс;

p – давление масла в гидроцилиндре, Па.

Стопор

Шток гидроцилиндра и стопор выполнены как одно целое, следовательно,
 $k_4 = 1$

Кристаллизатор

$$k_5 = 1 \frac{\text{Тонн}}{^{\circ}\text{C}}$$

Термопара

$$k_6 = \frac{I}{T} = \frac{1 \cdot 10^{-9}}{1595} = 6,26 * 10^{-13} \frac{A}{^{\circ}\text{C}}$$

где T – измеряемая температура, $^{\circ}\text{C}$;

I – ток на термопаре, А.

Преобразовательное устройство ПУ2

$$k_7 = \frac{I_{\text{пу2}}}{I_{\text{т}}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-9}} = 2 * 10^7$$

где $I_{\text{пу2}}$ – ток преобразовательного устройства ПУ2, А;

$I_{\text{т}}$ – ток на термопаре, А.

7.4 Выбор датчиков технологических измерений и преобразователей сигналов.

Измерительное устройство.

Для данной системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе МНЛЗ в качестве измерительного устройства целесообразно применить термопары, смонтированные в рабочих стенках на 10 уровнях от верхнего торца. Эта система даёт точность измерения уровня металла, равную ± 6 мм, а её инерционность составляет 1 с [8].

Ток на термопаре в момент измерения температуры:

$$I = 10^{-9} \text{ А,}$$

$$\text{ЭДС} = 10 \text{ мВ.}$$

Диапазон измеряемых температур составляет $0 \div 600^{\circ}\text{C}$.

Выбираем Хромель-копелевую термопару марки ТХК-146, чехол из стали Х18Н10Т, общая длина 500 мм .

Преобразовательное устройство ПУ1 – для преобразования сигнала управления гидроприводом стопорного затвора.

Преобразовательное устройство ПУ2 – для преобразования и усиления сигнала от термопары.

Для данной системы регулирования подходит преобразовательное устройство марки П9701, с рабочим током 20 мА .

7.5. Выбор принципа регулирования

В данной системе автоматического регулирования целесообразно применить принцип компенсации ошибки, так как основное координатное возмущение – износ стакана пром. ковша, невозможно контролировать в каждый момент времени. Данный принцип даёт возможность компенсировать и другие возмущения, оказывающие непосредственное влияние на процесс непрерывной разливки стали (минимизация динамических отклонений стопора, и др.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сюсюкин А.Ю, Щеглова А.Б, Бедарев Н.И, Козырева О.Е, Нюняев Е.А, Могильный В.В, Токарев А.В, Иванов А.А, Сметанин С.В, Бойков Д.В, Мурашкин С.В, Мезенцев А.В, Пятайкин Е.М, Колотов Е.А, Закаулов Е.Г, Атконова О.П, Сапелкин О.И, Ткачев А.И, Корнева Л.В, Горбунова Е.А. Патент RU 2440427: Способ производства рельсов.
2. Целиков А. И., Полухин П. И., Гребеник В. М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Учебник для вузов. 2-е издание, перераб. и доп.
3. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок – М.: Металлургия, 1991. 272с.
4. ПАО «ЧМК», Цех ремонта металлургического оборудования.
5. Интернет-ресурс: <https://uas.su/books/mnlz/1.5/razdel15.php>
6. Литвин, А.В., Мазур, В.Л., Темошенко, В.Л. Разработка литейно-прокатных комплексов для производства листовой стали, тонких слябов и лент за рубежом. Черная металлургия, 1990, №4. - С.23-31.
7. Глинков Г. М. АСУ ТП в чёрной металлургии. – М.: Металлургия, 1999. 310 с.
8. Система стабилизации уровня металла в кристаллизаторах МНЛЗ Челябинского металлургического комбината. Техническое описание и инструкция по эксплуатации (2ж2, 570, 043 ТО).