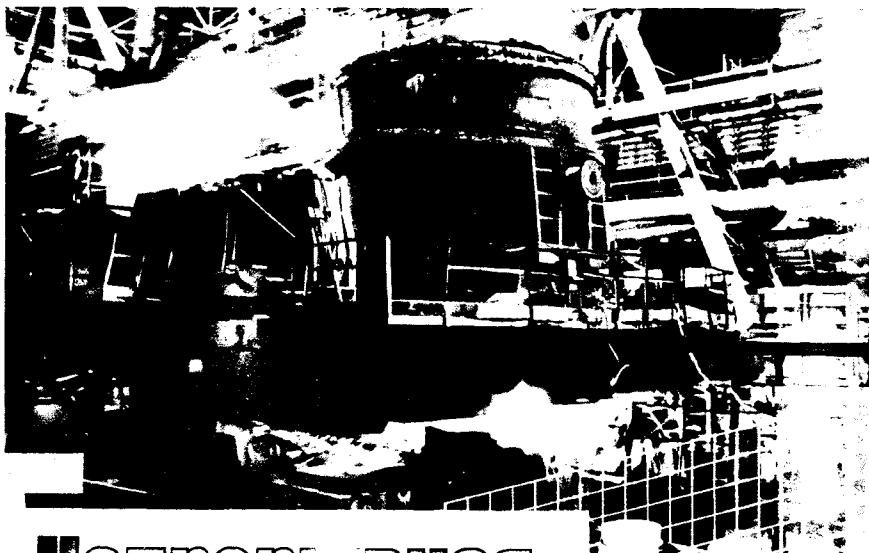


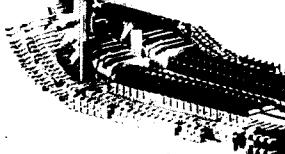
А.М. Стаников, В.И. Соломин



Непрерывная разливка стали

Часть первая

**Конструкция и
оборудование МНЛЗ**



Магнитогорск 2007

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

А.М. Столяров, В.Н. Селиванов

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ

Часть первая

КОНСТРУКЦИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МНЛЗ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

**Магнитогорск
2007**

УДК 621.746.5.047.06

Рецензенты:

Заведующий кафедрой металлургических технологий
Новотроицкого филиала ГОУ ВПО «Московский институт
стали и сплавов (технологический университет)»,
кандидат технических наук, доцент
E.B. Братковский

Ведущий специалист отдела сталеплавильного производства
центральной лаборатории контроля
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
кандидат технических наук
Д.В. Юречко

Столяров А.М., Селиванов В.Н.

**Непрерывная разливка стали. Часть первая. Конструкция и
оборудование МНЛЗ: Учебное пособие.** - Магнитогорск: ГОУ ВПО
«МГТУ», 2007. – 154 с.
ISBN 978-5-89514-856-3

Рассмотрена сущность процесса непрерывной разливки стали, приведены краткие исторические сведения, классификация МНЛЗ, данные о размещении машин в отделении непрерывной разливки стали. Обобщены сведения о конструкции основных технологических узлов МНЛЗ. Проанализирована компоновка узлов наиболее часто использующихся в действующих цехах криволинейных слябовых и радиальных сортовых МНЛЗ.

Материал пособия предназначен для использования студентами специальности «Металлургия чёрных металлов» специализации «Металлургия стали» при изучении дисциплины «Разливка и кристаллизация стали».

УДК 621.746.5.047.06

ISBN 978-5-89514-856-3 © ГОУ ВПО «МГТУ», 2007
© Столяров А.М., Селиванов В.Н., 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ И КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	7
ГЛАВА 2. КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ МНЛЗ.....	15
2.1. Классификация МНЛЗ.....	15
2.2. Размещение МНЛЗ в отделении непрерывной разливки стали.....	20
ГЛАВА 3. КОНСТРУКЦИЯ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МНЛЗ.....	23
3.1. Стальеразливочный стенд.....	23
3.2. Промежуточный ковш.....	26
3.3. Устройства для перемещения и подъёма промежуточного ковша.....	38
3.4. Кристаллизатор.....	41
3.5. Механизм качания кристаллизатора.....	53
3.6. Зона вторичного охлаждения.....	59
3.6.1. Конструкция поддерживающих устройств.....	60
3.6.2. Охлаждение заготовки.....	72
3.7. Тянуще-правильное устройство.....	80
3.8. Затравка.....	82
3.9. Устройства для отделения и транспортировки затравки.....	86
3.10. Устройства для разделения заготовки на мерные части.....	91
3.11. Устройства для электромагнитного перемешивания стали на МНЛЗ.....	98
3.12. Автоматизированная система управления МНЛЗ.....	109
ГЛАВА 4. СХЕМА КОМПОНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ МНЛЗ.....	130
4.1. Особенности компоновки узлов слябовой МНЛЗ.....	131
4.1.1. Техническая характеристика комбинированной криволинейной МНЛЗ.....	131
4.1.2. Техническая характеристика высокопроизводительной криволинейной МНЛЗ.....	135
4.1.3. Техническая характеристика криволинейной МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором.....	139
4.2. Особенности компоновки узлов сортовой МНЛЗ.....	146

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	153
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	154

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время и в обозримом будущем непрерывная разливка является и, несомненно, останется основным способом разливки стали. Промышленное внедрение этого способа означало начало нового, без преувеличения, революционного этапа в развитии чёрной металлургии. Это обусловлено важными преимуществами, которые непрерывная разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) имеет перед классическим способом её разливки в изложницы:

1. Высокая производительность МНЛЗ, особенно при работе методом "плавка на плавку", когда в одной серии без остановок разливается металл нескольких десятков плавок и значительно сокращаются потери времени при простоях машины.

2. Существенное (на 10...20 %) увеличение выхода годного проката из-за снижения потерь металла при осуществлении головной и донной обрези. На МНЛЗ отливается длинная непрерывнолитая заготовка, от которой только один раз делается обрезь в её начале и конце, в то время как при прокатке слитков, отлитых в изложницах, это делается от раската из каждого слитка. Повышению выхода годного металла способствует увеличение количества плавок в серии.

3. Улучшение качества разлитого металла, выражющееся в высокой его химической однородности и низкой загрязнённости неметаллическими включениями. Это происходит вследствие более быстрого затвердевания непрерывнолитой заготовки, имеющей значительно меньшую толщину, чем слиток в изложнице, и ассимиляции включений покровным шлаком как в промежуточном ковше, так и в кристаллизаторе.

4. Снижение капитальных затрат на строительство нового металлургического предприятия. При этом отсутствует необходимость в целом ряде цехов и отделений, связанных с изготовлением и подготовкой изложниц к разливке (цех изложниц, цех подготовки составов), извлечением слитков из изложниц (отделение стрипперования), нагревом слитков перед прокаткой (отделение нагревательных колодцев), прокаткой слитков на заготовки (обжимные станы: блюминги и слябинги).

¹⁾ Кроме термина МНЛЗ специалистами также используются термины-синонимы: чаще – установка непрерывной разливки стали (УНРС) и реже – машина непрерывной разливки стали (МНРС)

5. Экономия сырьевых и энергетических ресурсов вследствие сокращения технологической цепочки производства проката.

6. Более ритмичное снабжение прокатных станов заготовками большей массы, что способствует повышению производительности агрегатов.

7. Высокий уровень механизации и автоматизации процесса разливки стали.

8. Повышение производительности и улучшение условий труда разливщиков.

Машины непрерывного литья заготовок имеют различную конструкцию. Известно множество разнообразных конструкций МНЛЗ. Однако в реальных производственных условиях применяются лишь несколько типов машин.

В настоящем учебном пособии предлагается рассмотреть конструкцию, оборудование основных элементов и технологических узлов МНЛЗ, наиболее широко использующихся в сталеплавильных цехах современных металлургических предприятий.

ГЛАВА 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ И КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сущность процесса непрерывной разливки стали состоит в получении непрерывнолитого слитка (заготовки) при непрерывной заливке жидкого металла в специальные формы (кристаллизаторы) с постоянным перемещением кристаллизующейся заготовки относительно зоны заливки. В зависимости от вида используемого кристаллизатора различаются два способа разливки:

1. Разливка металла в подвижный кристаллизатор, который перемещается синхронно с формирующейся заготовкой (нескользящий метод).
2. Разливка металла в неподвижный или качающийся (совершающий колебательные – возвратно-поступательные движения) кристаллизатор, из которого вытягивается формирующаяся заготовка (скользящий метод).

По первому способу разливка производится в кристаллизаторы, выполненные в виде:

- вращающихся валков (машины "бесслитковой прокатки");
- бесконечных звеньев: цепей, лент (конвейерные литьевые машины);
- вращающихся колёс и лент (роторные машины).

Схема машины "бесслитковой прокатки" представлена на рис. 1.1. Конструкция этой машины была запатентована в 1857 г. родоначальником идеи непрерывной разливки стали англичанином Г. Бессемером. Заливка жидкого металла должна была осуществляться в зазор между двумя водоохлаждаемыми цилиндрами диаметром 1220 мм каждый, вращающимися навстречу друг другу. Для предотвращения растекания металла вдоль оси валков служили специальные реборды. На этой машине предполагалось производство стальной ленты (штрипса) толщиной 2,5 мм. Однако реализовать этот способ разливки в XIX веке не удалось. Изобретение Г. Бессемера значительно опередило своё время.

Лишь в 30..40-ых годах следующего – XX века начались опытные исследования по непрерывной разливке стали. Так в 1946 г. русским инженером М.Ф. Голдобиным была спроектирована машина конвейерного типа, схема которой приведена на

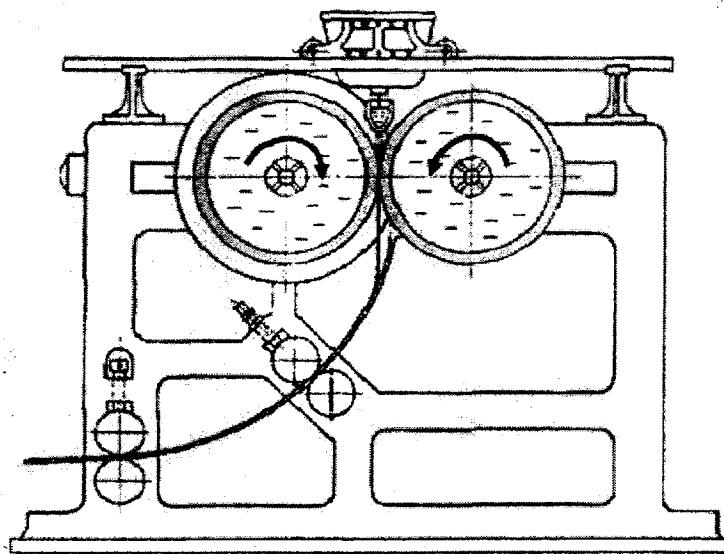


Рис. 1.1. Схема машины "бесслитковой прокатки"
Г. Бессемера

рис. 1.2. Такая машина была построена в 1950 г. на заводе "Серп и Молот" (г. Москва, СССР). Сталь на этой машине разливалась в наклонном, близком к горизонтальному, направлении и слиток кристаллизовался в движущемся канале, образованным стальными полуизложницами на двух конвейерных лентах. Машина М.Ф. Голдобина получила ещё название машины "гусеничного" типа. На ней отливались стальные заготовки квадратного поперечного сечения со стороной от 100 до 150 мм, прямоугольного сечения от 100×250 мм до 140×500 мм и других фасонных профилей. Рабочая скорость при отливке квадратной заготовки 140×140 мм колебалась в интервале 3,0...4,2 м/мин. Средняя производительность машины составляла 18...35 т/ч.

Принципиальная схема колёсно-ленточной (роторной) машины приведена на рис. 1.3. В настоящее время разработаны различные варианты схем для литья тонкой полосы, предназначенные для использования в литейно-прокатных агрегатах (ЛПА).

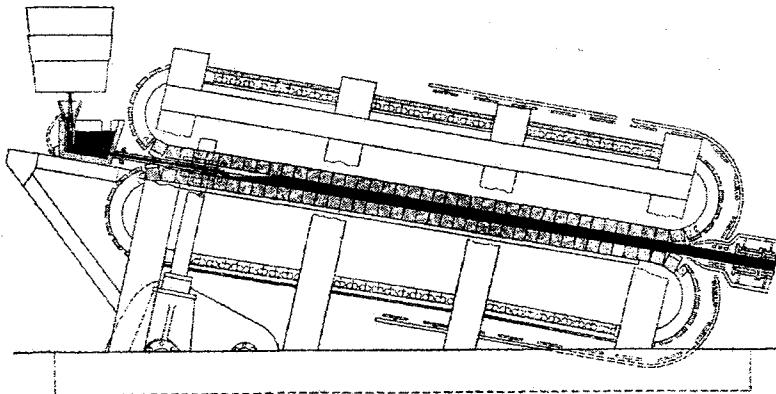


Рис. 1.2. Схема конвейерной машины М.Ф. Голдобина

Машины с подвижным кристаллизатором, работающие не- скользящим методом, не получили широкого применения в про- мышленности для непрерывной разливки стали.

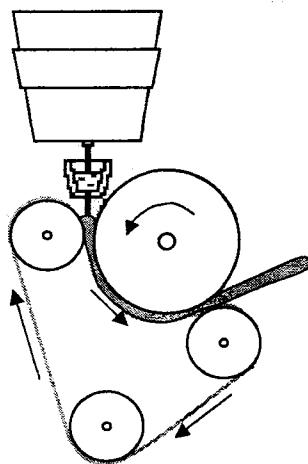


Рис. 1.3. Принципиальная схема роторной машины

Наибольшее распро- странение для непрерывной разливки металлов получили машины с качающимся кри- сталлизатором, из которого производилось вытягивание кристаллизующейся заготовки. По этому способу в 30-ых годах XX века началась разливка цветных металлов и сплавов, в основном алюми- ниевых и медных. Это объяснялось более простой техно- логией разливки таких мате- риалов по сравнению со сталью (низкая температура рас- плава вследствие меньшей температуры плавления, воз- можность вытягивания фор- мирующейся заготовки из кри- сталлизатора с высокой ско-

ростью из-за большой теплопроводности материала). При переходе к непрерывной разливке стали необходимо было решать задачу резкого снижения стойкости кристаллизатора и другие проблемы. Всё это создавало дополнительные трудности для осуществления этого процесса.

Первые успешные опыты по опробованию непрерывной разливки стали скользящим методом были проведены в 1939 г. в Германии З. Юнгансом. В ФРГ опытная установка для непрерывной разливки стали вертикального типа была построена в 1950 г. В Англии и США аналогичные установки появились несколько раньше – в 1946 г., а в Австрии позже – в 1952 г.

В СССР работы по освоению аналогичного метода непрерывной разливки стали были начаты в 1944 г. За достаточно короткий срок (три года) были созданы конструкции машин для полунепрерывной разливки ПН-1, ПН-2 и ПН-3. Следует отметить, что при полунепрерывном способе разливки металла отлитая заготовка целиком извлекается и разрезается на мерные части вне машины. На машинах же непрерывной разливки заготовка режется непосредственно на машине при помощи специальных устройств. В 1948 г. были разработаны более крупные полунепрерывные машины ПН-4 и ПН-5. Накопленные опыт и положительные результаты исследований позволили перейти к промышленным исследованиям. Так в 1950 г. была сооружена опытно-промышленная установка полунепрерывного литья на заводе "Красный Октябрь". Промышленные установки вертикального типа для непрерывной разливки стали впервые в мире начали эксплуатироваться в СССР: в 1953 г. на Ново-Тульском металлургическом заводе и в 1955 г. на заводе "Красное Сормово" (г. Горький).

Установка на Ново-Тульском металлургическом заводе имела общую высоту 22 м (колодец глубиной 19 м). Металл из 10-т сталеразливочного ковша подавался в промежуточный ковш вместимостью 2,5 т. Установка была одноручьевой с кристаллизатором длиной 1,5 м. На ней можно было отливать непрерывноплитные слитки со следующими размерами поперечного сечения: толщиной до 200 мм и шириной до 600 мм. Вытягивание слитка с размерами поперечного сечения 150×150 мм из кристаллизатора производилось двумя роликовыми клетями со скоростью до 2 м/мин. Под кристаллизатором применялось водяное охлаждение. При помощи подвижной газовой резки осуществлялось разделение слитка на мерные части. Отрезанная

заготовка кантователем опускалась на нижний рольганг, поворачивалась и транспортировалась к вертикальному подъёмнику, при помощи которого перемещалась на верхний рольганг. Сортамент разливаемого металла был представлен марками углеродистой и легированной стали.

На заводе "Красное Сормово" установка для разливки стали из 50-т ковша была уже двухручьевой. Схема её приведена на рис. 1.4.

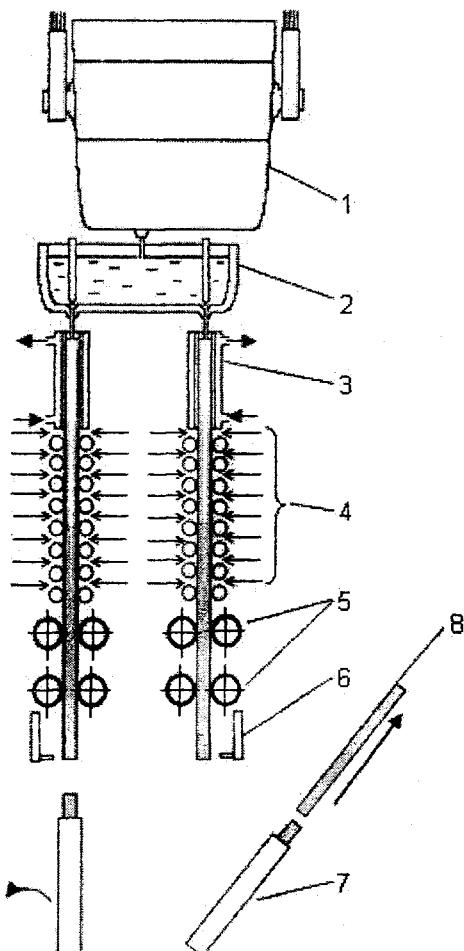


Рис. 1.4. Схема вертикальной машины для непрерывной разливки стали на заводе "Красное Сормово":

- 1 – стаперазливочный ковш;
- 2 – промежуточный ковш;
- 3 – кристаллизатор;
- 4 – зона вторичного охлаждения;
- 5 – тянущие клети;
- 6 – газорезка;
- 7 – кантователь;
- 8 – отрезанная заготовка мерной длины

Общая высота установки составляла около 17 м с колодцем глубиной 13 м. Промежуточный ковш имел вместимость 3...5 т. В кристаллизаторах разборной конструкции использовались медные стенки толщиной 13 мм. В них отливались слитки сечением 175×420 мм из углеродистой стали для последующей прокатки на сорт или лист. Расход воды на каждый кристаллизатор составлял 130...140 м³/ч. В качестве смазки на внутреннюю поверхность кристаллизатора подавались жидкий парафин или растительное (сурепное) масло. Расход воды на вторичное охлаждение слитка под кристаллизатором варьировался от 130...140 до 75...80 м³/ч. Производительность машины с двумя работающими кристаллизаторами составляла 50...55 т/ч.

Первый сталеплавильный цех, в котором вся выплавленная сталь разливалась непрерывным способом, был построен в СССР на Новолипецком металлургическом заводе.

В 60-ых годах XX века за рубежом начинается бурное строительство установок для непрерывной разливки стали. К началу 1966 г. там эксплуатировались уже 84 установки и 58 находились в стадии строительства. Наибольшая часть из действовавших машин (86 %) предназначалась для отливки сортовых заготовок квадратного, прямоугольного и круглого профилей. Наряду с уже традиционными установками вертикального типа появились и установки с другим расположением технологической оси: вертикальные с изгибом заготовки и радиальные машины (1963 г.). В то время наибольшее развитие непрерывная разливка получила в Англии. С течением времени приоритет по этому способу разливки перешёл к Японии. В этой стране в 1980 г. было произведено 66,3 млн. т непрерывнолитых заготовок, что составляло около 60 % от общего производства стали. В 100 странах к этому времени эксплуатировалось примерно 950 МНЛЗ, из которых 73 % были сортовыми и 27 % слябовыми. По темпам развития непрерывной разливки стали СССР, являвшийся пионером в промышленном применении этого способа, значительно отстал от промышленно-развитых стран. К концу 80-ых годов в СССР насчитывалось 45 МНЛЗ, из которых больше половины (около 58 %) машин были слябовыми. В последний год существования СССР из 89,6 млн. т произведённой стали лишь 20,3 % было разлито непрерывным способом.

В промышленно-развитых странах в 2004...2005 годах практически вся (97...98 % от общего объёма производства) получаемая сталь разливалась непрерывным способом. На рубеже

ХХ и ХХI столетий появился новый лидер как в общем объёме производства стали, так и в её количестве с разливкой на МНЛЗ. Этим лидером стала самая густонаселённая страна нашей планеты – Китай. На рис. 1.5 приведена динамика роста объёмов производства стали в этой стране на фоне общемирового производства.

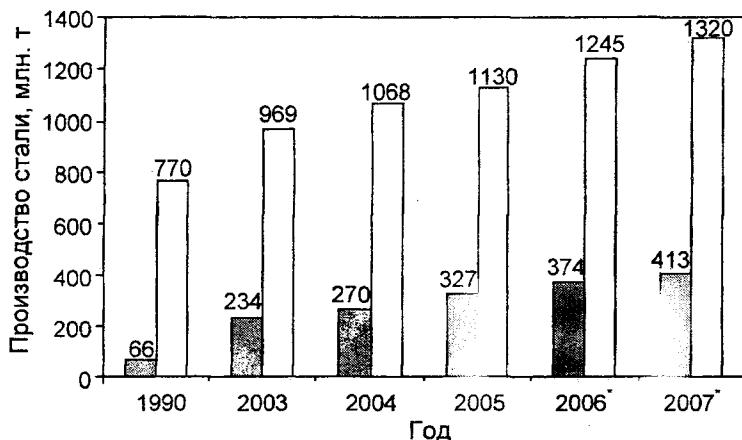


Рис. 1.5. Динамика изменения производства стали в Китае (тёмный цвет) на фоне общемирового производства (белый цвет) за 1990...2007 годы (года со звёздочкой – прогноз)

Из рис. 1.5 видно, что доля Китая в общемировом производстве стали возросла с 8,6 % в 1990 г. до 28,9 % в 2005 г. По прогнозу к 2007 г. она может увеличиться до 31,3 %. В 2005 г. в "Поднебесной" непрерывным способом было разлито около 316 млн. т стали.

России предстоит догонять промышленно-развитые страны по количеству разливаемой непрерывным способом стали. На рис. 1.6 представлены данные об изменении общего объёма произведённой в нашей стране стали и её доли, разлитой на МНЛЗ. Из этих данных следует, что прирост доли непрерывнолитой стали за 10 лет (с 1995 по 2005 г.г.) составил значительную величину – почти 30 %. Однако, достигнутый уровень (66 %) всё ещё очень далёк от передовых зарубежных стран. Прогнозируется, что лишь к 2015 г. наша страна поднимется до сегодняш-

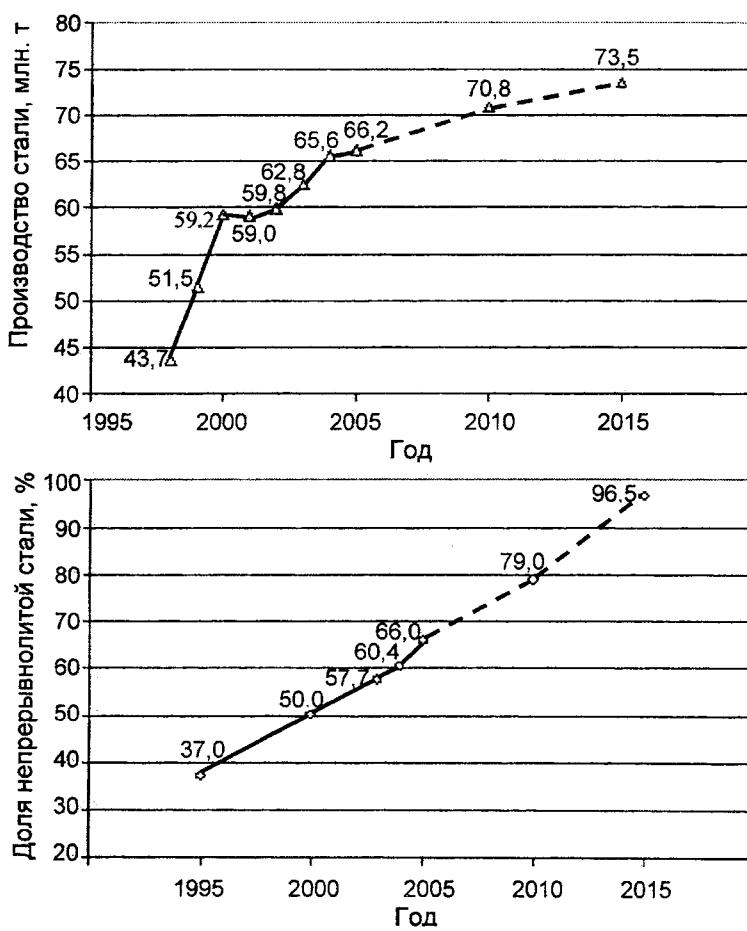


Рис. 1.6. Общее количество произведённой в России стали (вверху) с долей непрерывнолитой стали (внизу) в разные годы (пунктирная линия – прогноз)

него уровня промышленно-развитых стран.

ГЛАВА 2. КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ МНЛЗ

В настоящее время на промышленных предприятиях эксплуатируются различные по конструкции и производительности МНЛЗ, на которых отливаются непрерывнолитые заготовки разных типоразмеров из стали широкого сортамента. МНЛЗ в отделении непрерывной разливки стали (ОНРС) размещаются в соответствии с определёнными принципами компоновки.

2.1. Классификация МНЛЗ

Все промышленные МНЛЗ классифицируются по следующим признакам.

По типу отливаемой заготовки они подразделяются на:

- слябовые;
- блюмовые;
- сортовые.

На слябовых машинах отливаются заготовки, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника с отношением большей стороны (ширины) к меньшей стороне (толщине) больше двух. Эти заготовки предназначены для производства из них листового металлопроката. На блюмовых и сортовых МНЛЗ отливаются заготовки, которые в своём поперечном сечении представляют собой круг, квадрат или прямоугольник с отношением ширины к толщине меньше двух. При размере стороны заготовки более 200 мм они называются блюмовыми, а при меньшем размере — сортовыми. Из таких заготовок производится сортовой прокат: уголок, швеллер, круг, квадрат и другие виды.

По количеству ручьёв МНЛЗ бывают одно- и многоручьевыми. Количество ручьёв машины строго соответствует количеству использующихся кристаллизаторов. Чем в большее количество кристаллизаторов разливается сталь из сталеразливочного и промежуточного ковшей, тем выше производительность МНЛЗ, но сложнее и дороже оборудование. Слябовые машины чаще всего бывают двух...четырёхручьевыми, блюмовые — четырёхручьевыми, а сортовые имеют от четырёх до восьми ручьёв.

Одним из основных классификационных признаков МНЛЗ является расположение их технологической оси. По этому признаку все машины делятся на следующие типы:

- вертикальные;

- вертикальные с изгибом;
- радиальные;
- радиальные с вертикальным кристаллизатором;
- криволинейные;
- криволинейные с вертикальным кристаллизатором;
- горизонтальные.

Схема технологических осей различных типов МНЛЗ приведена на рис. 2.1.

На позиции "а" этого рисунка показана схема технологической оси вертикальной МНЛЗ. Такие машины применялись на первом этапе промышленного освоения непрерывной разливки стали (см. рис. 1.4). На них можно разливать сталь любого сортамента, включая высококачественный, средне- и высоколегированный металлы. При разливке на вертикальных машинах имеются благоприятные условия для получения непрерывнолитой заготовки высокого качества: с симметричным кристаллическим строением, низким содержанием неметаллических включений и растворённых газов, отсутствием дефектов макроструктуры и на поверхности. Конструкции прямолинейного кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения являются достаточно простыми и недорогими. Всё это связано с вертикальным расположением отливающей заготовки, не подвергаемой деформации для разгибания. Однако вертикальные МНЛЗ имеют очень большую высоту – до 40 м и более. Поднимать сталеразливочный ковш с металлом на такую высоту очень неудобно. Поэтому такие машины обычно имеют разливочную площадку всего на несколько метров выше уровня пола цеха, а основная их часть располагается в глубоком бетонированном колодце. Расходы на строительство этих машин очень высокие. Они должны иметь сложное оборудование для выдачи отлитых заготовок из колодцев. Серьёзные трудности создаются в случае аварийных прорывов затвердевшей корки слитка, очень сложно производить обслуживание оборудования, расположенного на разных уровнях. Производительность вертикальных МНЛЗ относительно невысокая из-за небольшой скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора. Это объясняется тем, что при увеличении скорости вытягивания слитка прямо пропорционально возрастает длина лунки жидкого металла в отливающей заготовке. При этом необходимо увеличивать длину зоны вторичного охлаждения машины, из которой заготовка должна выходить полностью затвердевшей. Это ведёт к получению ещё большей высоты машины и её удорожанию.

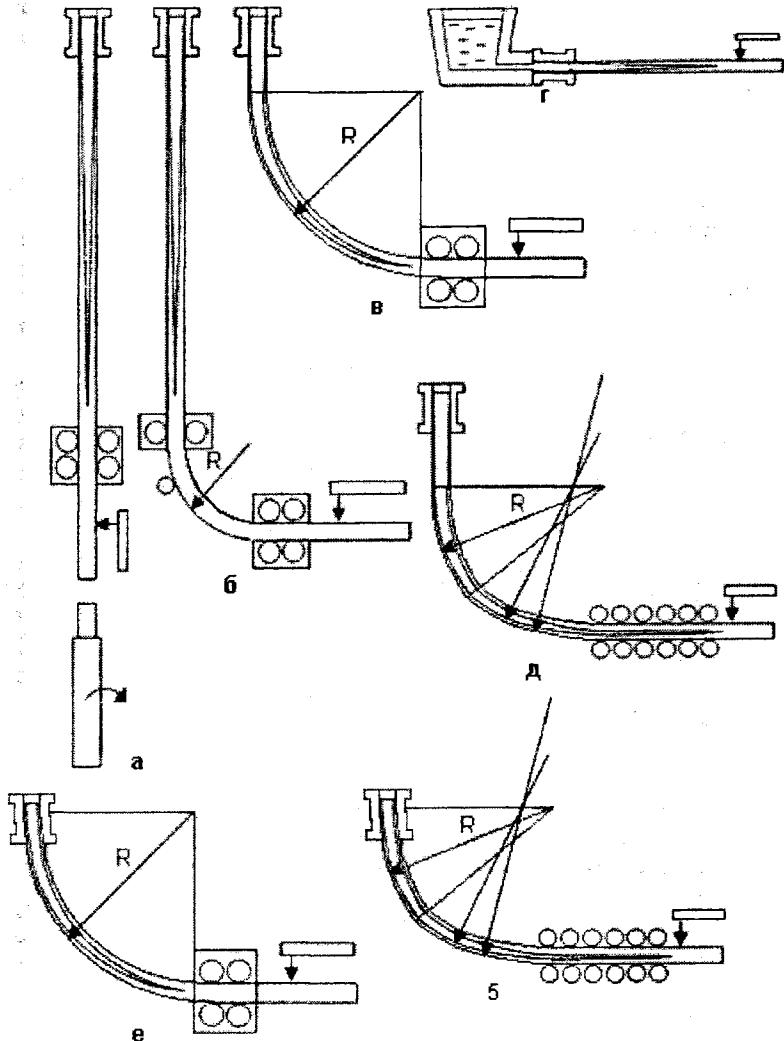


Рис. 2.1. Схемы технологических осей различных МНЛЗ: а – вертикальная; б – вертикальная с изгибом; в – радиальная с вертикальным кристаллизатором; г – горизонтальная; д – криволинейная с вертикальным кристаллизатором; е – радиальная; ж – криволинейная

Стремление к снижению высоты МНЛЗ привело к появлению вертикальных машин с изгибом слитка после его полного затвердевания для вывода технологической оси в горизонтальное положение (позиция "б" рис. 2.1), в котором осуществляется резка слитка на части мерной длины.

Следующим этапом в направлении снижения высоты машины явилась разработка радиального, криволинейного и горизонтального типов МНЛЗ (позиции "е", "ж" и "г" на рис. 2.1).

В радиальных машинах изгиб постоянного радиуса отливаемой заготовке придаётся уже в кристаллизаторе с изогнутыми стенками. Высота МНЛЗ соответствует величине базового радиуса, определяющего изгиб наружной стороны заготовки (большой радиус). Базовый радиус радиальных машин обычно изменяется в интервале от 5 до 12 м. Внутренняя сторона заготовки имеет меньший радиус изгиба (малый радиус). Если сравнить машины вертикального и радиального типов одинаковой высоты, то металлургическая длина (расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до последней пары поддерживающих роликов) радиальной МНЛЗ больше в $\pi/2$ раза, что позволяет соответственно увеличить скорость вытягивания заготовки и производительность машины. Эти выкладки применимы для классического варианта радиальных машин, на которых заготовка должна успеть затвердеть до начала её разгибания при выходе в горизонтальную часть машины. В дальнейшем стали проектироваться радиальные МНЛЗ с ещё большей скоростью вытягивания заготовки из кристаллизатора, когда разгибание слитка начиналось при наличии в нём ещё незатвердевшего металла.

Криволинейные машины выполняются, как правило, меньшей высоты, чем радиальные с аналогичным базовым радиусом. Эти МНЛЗ имеют кристаллизатор с изогнутыми стенками и часть зоны вторичного охлаждения постоянной кривизны (радиальный участок), а также участок переменной кривизны, на котором происходит плавное выпрямление заготовки с жидкой сердцевиной. Металлургическая длина криволинейных МНЛЗ значительно больше и составляет до 35...40 м за счёт более длинного горизонтального участка. Это позволяет существенно повысить скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора и производительность машины.

Общими недостатками высокопроизводительных радиальных и криволинейных МНЛЗ являются ограничение сортамента

разливаемой стали, что связано с повышением вероятности трещинообразования и внутренних ликвационных полос при правке заготовки с жидкой сердцевиной, сложная конструкция кристаллизатора, несимметричное расположение поддерживающих устройств в зоне вторичного охлаждения по малому и большому радиусам заготовки, трудности с равномерным охлаждением заготовки по разным радиусам.

Первые горизонтальные МНЛЗ имели технологическую ось, расположенную строго горизонтально. Однако в процессе эксплуатации таких машин было установлено, что их технологическая ось должна иметь небольшой наклон (под углом 7...12° к горизонту). Это способствует улучшению условий удаления газов из кристаллизатора в начале разливки и улучшению процесса окончания разливки. Сталь из ковша поступает в футерованный металлоприёмник, откуда через огнеупорный стакан (разделительное кольцо) подаётся в неподвижный кристаллизатор. Кристаллизующаяся заготовка вытягивается в периодическом режиме. Специальный механизм перемещает слиток вперёд на расстояние до 50 мм (вытягивание), затем возвращается назад в исходное положение (обратный ход). Во время обратного хода слиток остаётся неподвижным или немного осаживается назад. Частота циклов "вытягивание – обратный ход" достигает 200...300 цикл./мин. Периодическое вытягивание слитка заменяет качание кристаллизатора, применяющееся на машинах другого типа. На таких машинах применяется зона вторичного охлаждения "душирующего" типа. Обычно верхние поддерживающие устройства в ней отсутствуют. На горизонтальных МНЛЗ отливаются сортовые заготовки небольшого сечения толщиной менее 150 мм. Такие машины выгодно отличаются низкими капитальными и эксплуатационными затратами, возможностью расположения в действующих цехах и совмещения с прокатным станом. Однако они имеют невысокую производительность, значительными являются затраты на изготовление и эксплуатацию разделительных колец из дефицитных материалов (нитрида бора BN, нитрида кремния Si_3N_4 , $SiAlONa$ $Si_xAl_yON_z$ и др.). Отлитая заготовка имеет нарушения сплошности металла в своей верхней части из-за протекания усадочных процессов при кристаллизации стали, неравномерное расположение неметаллических включений и растворённых газов. Появляются дополнительные потери металла при механической зачистке отлитой заготовки.

Достаточно перспективными являются МНЛЗ радиального и криволинейного типов с вертикальным кристаллизатором (позиции "в" и "д" рис. 2.1). В начале зоны вторичного охлаждения этих машин имеется вертикальный участок небольшой длины. Это позволяет улучшить качество отливаемой заготовки вследствие создания благоприятных условий для удаления неметаллических включений и газов из жидкой лунки слитка. Возможность образования ликвационных полос значительно меньше, так как изгиб заготовки осуществляется на ранней стадии её формирования при ещё незначительном различии в химическом составе затвердевшей корки слитка и его жидкой сердцевины. Прямолинейный кристаллизатор имеет более простую конструкцию, упрощается настройка технологической оси машины. Однако высота таких МНЛЗ увеличивается.

В настоящее время на металлургических предприятиях нашей страны преимущественно эксплуатируются МНЛЗ радиального и криволинейного типов. В высокопроизводительных кислородно-конвертерных цехах разливка стали относительно несложного сортамента производится на криволинейных машинах. В электросталеплавильных цехах для разливки стали более сложных марок используются МНЛЗ радиального типа разных модификаций.

2.2. Размещение МНЛЗ в отделении непрерывной разливки стали

В настоящее время существует две основные схемы размещения МНЛЗ в ОНРС: с блочным и линейным расположением машин (рис. 2.2).

В ОНРС с блочным расположением машин их технологические оси перпендикулярны сталевозным путям, по которым осуществляется подача металла в отделение (рис. 2.2, а). Здание ОНРС состоит из нескольких разливочных пролётов, в каждом из которых располагается одна (реже – две) МНЛЗ. В каждом пролёте устанавливается по два разливочных крана. Ковш с металлом в требуемый пролёт подаётся при помощи самоходной тележки (сталевоза) и краном передаётся на МНЛЗ. Отрезанные части заготовки мерной длины с ручьём всех машин выдаются на рольганг, расположенный поперёк разливочных пролётов. С рольганга заготовки собираются на транспортно-отде-

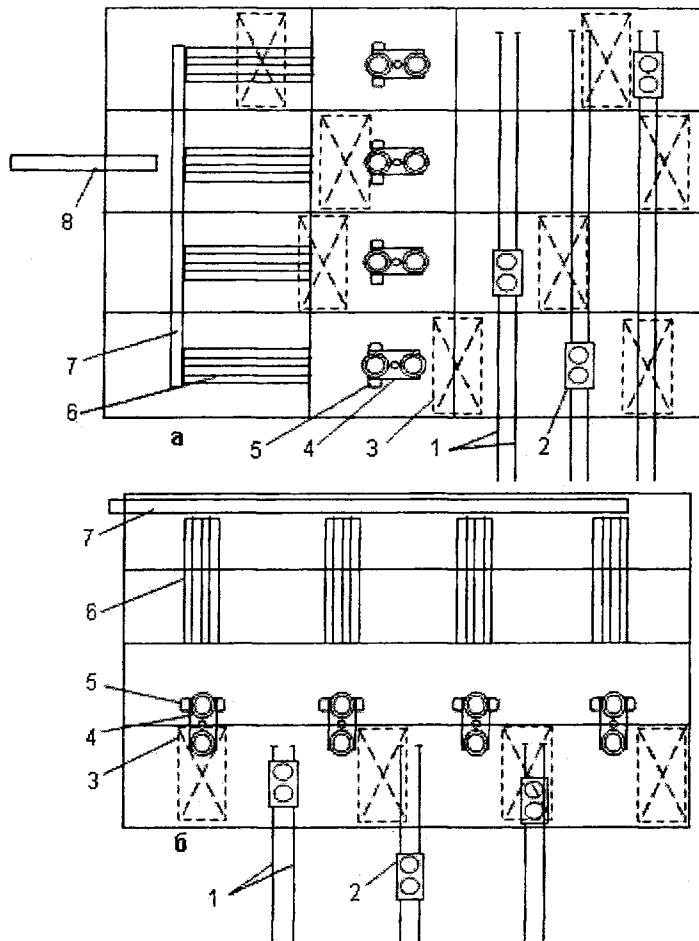


Рис. 2.2. Схемы объёмно-планировочного решения ОНРС с блочным (а) и линейным (б) расположением МНЛЗ: 1 – сталевозные пути; 2 – сталевоз; 3 – разливочный кран; 4 – поворотный стенд МНЛЗ; 5 – промежуточный ковш; 6 – ручьи МНЛЗ; 7 – рольганг; 8 – транспортно-отделочная линия

лочную линию для передачи на адьюстаж.

Планировка ОНРС с блочным расположением МНЛЗ имеет следующие достоинства:

- возможность беспрепятственной подачи ковшей с металлом от каждого сталеплавильного агрегата на любую МНЛЗ;
- возможность использования любого типа МНЛЗ;
- возможность обслуживания одним разливочным краном машин в данном разливочном пролёте на всю их технологическую длину.

Недостатки такой планировки:

- большое количество разливочных кранов в отделении при относительно низкой их загрузке;
- большая площадь ОНРС;
- большая высота здания по всей длине разливочных пролётов;
- необходимость установки дополнительных кранов меньшей грузоподъёмности во втором ярусе.

В отделении с линейным расположением МНЛЗ их технологические оси параллельны сталевозным путям (рис. 2.2, б). Здание ОНРС также состоит из нескольких пролётов, которые имеют разную высоту. В самом высоком – разливочном пролёте в линию расположены все МНЛЗ. Они обслуживаются несколькими разливочными кранами, перемещающимися в одном пролёте.

Планировка отделения с линейным расположением машин обладает достоинствами:

- меньшая площадь ОНРС и высота пролётов;
- меньшие капитальные затраты на строительство отделения;
- снижается количество тяжёлых разливочных кранов при увеличении их загрузки.

Такому объёмно-планировочному решению присущи и недостатки:

- необходимость в соблюдении жёсткого графика подачи жидкого металла из плавильного отделения в ОНРС;
- обязательное использование поворотных стендов для подачи ковшей в рабочее положение на МНЛЗ;
- усложнение работы разливочных кранов, мешающих друг другу в одном пролёте.

При выборе принимаемого объёмно-планировочного решения ОНРС должны учитываться планировка всего сталеплавильного цеха и местные условия.

ГЛАВА 3. КОНСТРУКЦИЯ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МНЛЗ

Современная МНЛЗ представляет собой сложный комплекс технологического оборудования и состоит из: сталеразливочного стендса, промежуточного ковша, устройства для перемещения и подъёма промежуточного ковша, кристаллизатора, механизма качания кристаллизатора, затравки и механизмов для её введения и отделения, поддерживающих устройств зоны вторичного охлаждения, системы вторичного охлаждения заготовки, тянуще-правильного устройства, устройств для разделения заготовки на мерные части, систем гидравлики, смазки и охлаждения, электрооборудования, устройств электромагнитного перемешивания, средств контроля и автоматизации.

3.1. Сталеразливочный стенд

Сталеразливочный стенд предназначен для:

- быстрого (не более 30...40 с) перемещения сталеразливочного ковша из резервной позиции в рабочую при работе МНЛЗ основным методом "плавка на плавку";
- подъёма ковша на высоту, позволяющую проведение таких технологических операций, как прожигание отверстия в канале стакана-коллектора сталеразливочного ковша, установка и замена защитных труб на участке сталеразливочного ковш – промежуточный ковш, замена погружных стаканов промежуточного ковша и др.;
- непрерывного взвешивания сталеразливочного ковша с металлом;
- аварийного перемещения ковша в позицию для слива металла в аварийные ёмкости.

Все сталеразливочные стены выполнняются двухпозиционными, то есть рассчитанными на установку двух сталеразливочных ковшей. По конструкции и принципу работы стены бывают двух типов: поворотные и передвижные (откатные).

Схема поворотного сталеразливочного стендса показана на рис. 3.1.

Подъёмно-поворотный стенд крепится на колонне, закреплённой на индивидуальном фундаменте. Это необходимо для того, чтобы предотвратить воздействие любых внешних вибраций на работу стендового оборудования. Стенд поворачивается

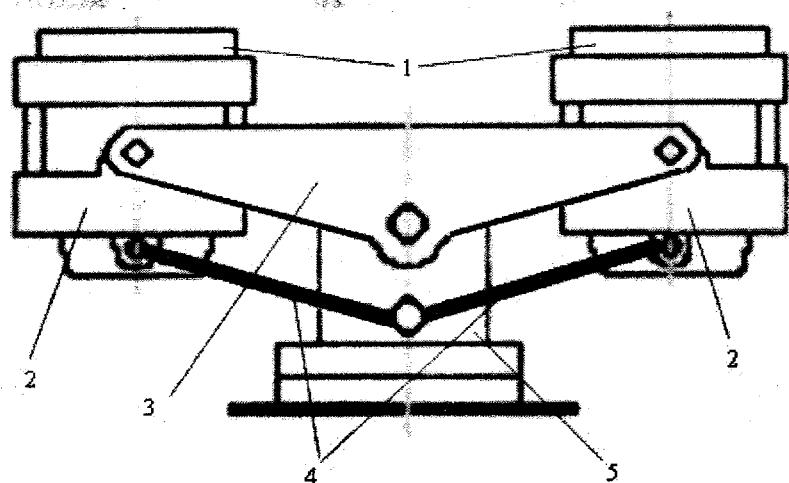


Рис. 3.1. Схема подъёмно-поворотного сталеразливочного стенда:

1 – сталеразливочные ковши; 2 – подвески (люльки);
3 – качающаяся траверса; 4 – тяги; 5 – колонна

вокруг колонны со скоростью до 1 об/мин при помощи электропривода, состоящего из двух электродвигателей. При этом один двигатель является рабочим, а другой – резервным. Кроме того, имеется запасной привод поворота стендса с пневмодвигателем, работающим от цеховой сети сжатого воздуха. Наличие резервного электродвигателя и запасного привода объясняется тем, что недопустимой является следующая аварийная ситуация. В случае непредвиденной остановки стендса в некотором промежуточном положении будет невозможно снять краном со стендса опорожнённый ковш или ковш с металлом, так как цапфы ковша окажутся повёрнутыми относительно подвески крана.

Ковши устанавливаются в подвески-люльки, закреплённые на концах качающейся траверсы. Она служит для осуществления подъёма одного из ковшей при одновременном опускании другого ковша. Перемещение траверсы производится под воздействием рычагов, на которые воздействует ползун с помощью двух гидроцилиндров. Для сохранения ковшами вертикального

положения при их подъёме-опускании предназначен четырёхзвеный механизм, состоящий из шарнирно соединённых траперсы, колонны, подвесок для ковшей и дополнительных тяг. В опоры под ковш каждой подвески вмонтированы месдозы для взвешивания ковша с металлом.

Для осуществления разливки методом "плавка на плавку" работа МНЛЗ с использованием поворотного стенда осуществляется следующим образом. Металл разливается из ковша, находящегося в рабочей позиции на стенде над промежуточным ковшом. Заранее – до опорожнения этого ковша, в резервную позицию на стенд краном устанавливается ковш с металлом следующей плавки. После окончания металла в первом ковше, стенд быстро поворачивается на 180° и разливка продолжается уже из второго ковша. Во время поворота стенд металл в кристаллизаторы поступает за счёт его запаса в промежуточном ковше.

Достоинствами поворотных стендов являются их компактность и удобство в эксплуатации, а недостатком – достаточно сложное оборудование.

Схема передвижного стендса приведена на рис. 3.2.

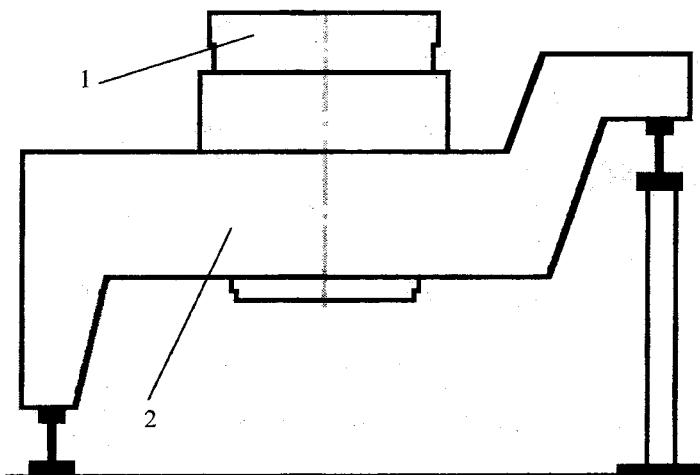


Рис. 3.2. Схема передвижного стендса:
1 – сталеразливочный ковш; 2 – откатной стенд

Откатной стенд бывает портального или полупортального типа. Он снабжён механизмами для перемещения стендса по рельсам, подъёма-опускания ковшей и их взвешивания. Главным достоинством передвижного стендса является простота его конструкции. К недостаткам можно отнести громоздкость оборудования, большие вес и занимаемую площадь, необходимость в мощных опорных конструкциях, наличие двух стендов для обеспечения эффективного процесса серийной разливки металла.

3.2. Промежуточный ковш

Промежуточный ковш располагается между сталеразливочным ковшом и кристаллизаторами МНЛЗ. Промежуточный ковш выполняет следующие функции:

- распределение поступающего из сталеразливочного ковша металла в несколько кристаллизаторов;
- обеспечение стабильности процесса разливки – наполнения кристаллизаторов с постоянной скоростью, как при уставновившемся режиме разливки металла одной плавки, так и серии плавок путём поддержания постоянного уровня и относительно низкого (по сравнению со сталеразливочным ковшом) ферростатического давления металла, так и при переходном режиме во время замены сталеразливочного ковша за счёт имеющегося запаса металла;
- рафинирование металла от неметаллических включений в результате их всплыивания и ассимиляции покровным шлаком.

Схема разливки стали из сталеразливочного ковша через промежуточный ковш в кристаллизаторы на четырёхручьевой МНЛЗ приведена на рис. 3.3.

Металл через защитную трубу-воронку поступает под уровень в промежуточный ковш. В место стыка воронки со сталеразливочным ковшом подаётся аргон для исключения эжектирования в металл воздуха. Струя металла попадает в "бойное" место заливочной камеры промежуточного ковша. Через отверстия в фильтрующих перегородках металл движется в разливочные камеры. Регулирование подачи металла в кристаллизаторы выполняется стопорами. При подъёме стопора металл через разливочный стакан поступает в удлинённые погружные стаканы и далее в кристаллизатор. Поверхность жидкого металла в промежуточном ковше и в кристаллизаторах закрыта покровным

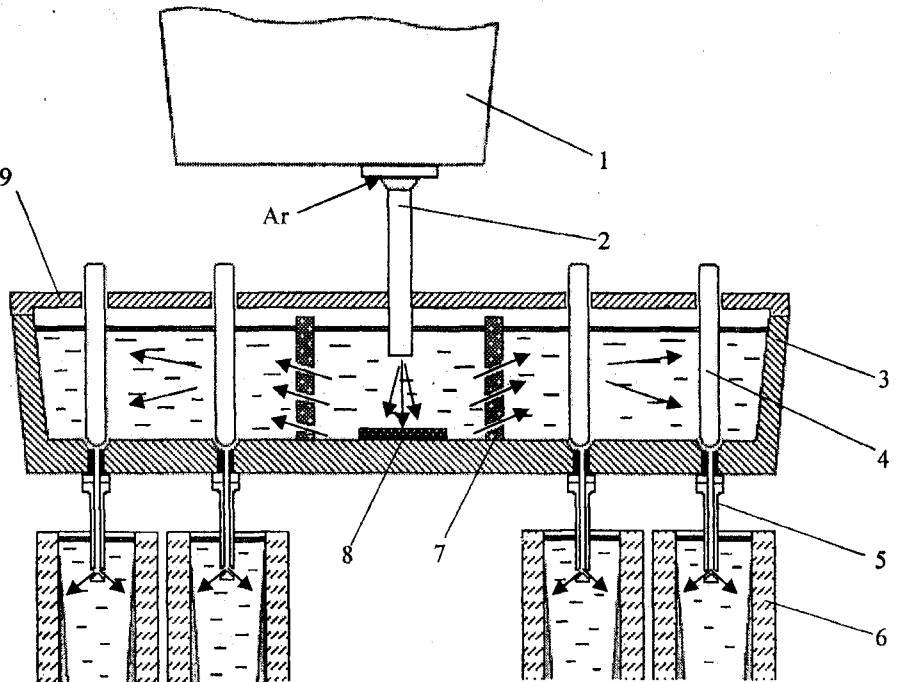


Рис. 3.3. Схема разливки металла из сталеразливочного ковша через промежуточный ковш в кристаллизаторы: 1 – сталеразливочный ковш; 2 – защитная труба (воронка); 3 – промежуточный ковш; 4 стопор; 5 – погружной стакан; 6 – кристаллизатор; 7 – перегородка; 8 – “бойное” место; 9 – крышка ковша

шлаком. Поэтому на всём пути от сталеразливочного ковша до кристаллизатора металл не контактирует с атмосферным воздухом для предотвращения вторичного окисления, поступления азота и тепловых потерь.

Главными характеристиками промежуточного ковша являются его вместимость и глубина заполнения жидким металлом. Ковш должен быть достаточно вместительным для того, чтобы за время прекращения подачи металла из сталеразливочного ковша в течение 1...2 мин в процессе его замены не снижалась скорость вытягивания заготовок из кристаллизаторов. Кроме того, вместимость ковша определяет продолжительность нахождения в нём залитого металла для возможности его усреднения и удаления части неметаллических включений. Эта продолжительность на отечественных МНЛЗ составляет 5...10 мин.

От вместимости ковша напрямую зависит глубина ванны жидкого металла в нём. Как правило, чем вместимее промежуточный ковш, тем больше глубина его заполнения. Этот параметр существенным образом влияет на организацию струи истекающего из промежуточного ковша металла, попадание шлака в кристаллизаторы и время всплыивания неметаллических включений. Из опыта эксплуатации МНЛЗ и результатов моделирования известно, что наилучшая организация струи достигается при уровне металла в промежуточном ковше, равном 600...700 мм. Более высокий уровень металла вызывает излишнюю турбулизацию струи, а при меньшем уровне снижается наполненность струи, уменьшается продолжительность пребывания металла в ковше и затрудняется серийная разливка стали. При смене сталеразливочного ковша в промежуточном ковше должен оставаться слой жидкого металла не менее 250...300 мм для предотвращения образования воронок, затягивания в них шлака и попадания его в кристаллизатор. Глубина заполнения промежуточного ковша жидким металлом оказывает противоречивое воздействие на условия удаления неметаллических включений. С одной стороны, увеличение глубины ванны вызывает возрастание времени для всплыивания включений в слое жидкого металла, а с другой, увеличивает продолжительность нахождения металла в ковше для его рафинирования от включений.

Вместимость промежуточного ковша и глубина его заполнения жидким металлом зависят от вместимости сталеразливочного ковша, типа и количества ручьёв МНЛЗ, размеров попе-

речного сечения отливаемой заготовки, параметров температурно-скоростного режима разливки металла.

В мировой практике непрерывной разливки стали существует тенденция к увеличению вместимости промежуточных ковшей. Так при разливке стали за рубежом на слябовых МНЛЗ из больших сталеразливочных ковшей применяются промежуточные ковши вместимостью до 60...90 т. Максимальная глубина ванны жидкого металла на слябовых МНЛЗ достигает 1200...1300 мм.

Конструкция и форма промежуточного ковша должны быть такими, чтобы снижалась вероятность попадания в кристаллизаторы неметаллических включений, имелась возможность для быстрой замены ковша, удобного наблюдения за поверхностью металла в кристаллизаторах, проведения различных технологических операций: подачи шлакообразующей смеси в кристаллизаторы, замены погружных стаканов, контроля и поддержания уровня металла в кристаллизаторах. Конфигурация основных разновидностей промежуточных ковшей, применяемых на слябовых МНЛЗ, приведена на рис. 3.4.

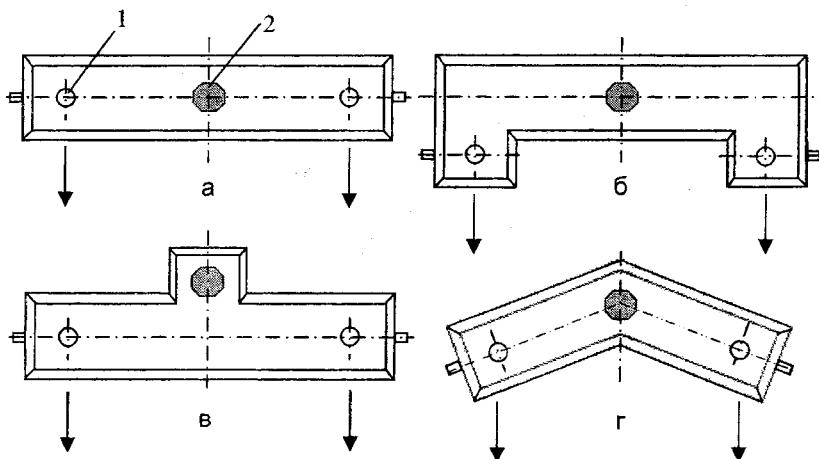


Рис. 3.4. Промежуточные ковши слябовых МНЛЗ разной формы:
а – прямоугольная; б – П-образная; в – L-образная;
г – V-образная (1 – разливочное отверстие;
2 – “боеевое” место; стрелки показывают направление
вытягивания заготовок)

В ковшах сложной конфигурации увеличивается расстояние от места подвода в промежуточный ковш жидкого металла – так называемого "бойного" места до разливочных отверстий. Это ведёт к возрастанию продолжительности пребывания залитого металла в ковше и всплыvанию большего количества неметаллических включений. С целью фильтрации неметаллических включений в промежуточные ковши устанавливаются огнеупорные перегородки с отверстиями (см. рис. 3.3). Однако в ковшах нетрадиционной конфигурации существенно усложняется выполнение огнеупорной футеровки. Поэтому на слябовых МНЛЗ наибольшее распространение получили ковши самой простой – прямоугольной формы.

Сортовые МНЛЗ имеют обычно большее количество ручьёв, чем слябовые машины. В промежуточном ковше необходимо разместить несколько разливочных отверстий с меньшим расстоянием между ними. Поэтому довольно часто на таких МНЛЗ применяются ковши \perp – образной формы. Схема ковша такой формы для пятиручьевой МНЛЗ показана на рис. 3.5.

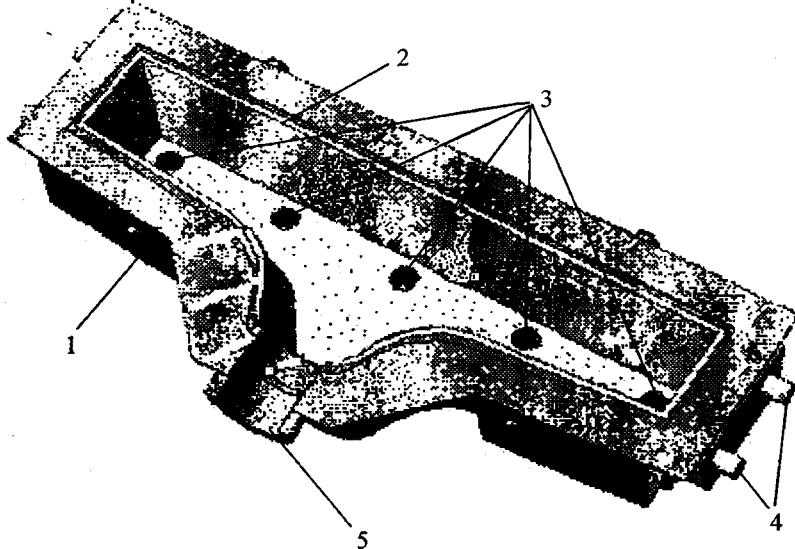


Рис. 3.5. Схема \perp – образного промежуточного ковша пятиручьевой сортовой МНЛЗ: 1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – разливочные отверстия; 4 – цапфы; 5 – сливной носок

Металлический корпус промежуточного ковша выполняется сварным из стальных листов с внутренними рёбрами. Стены ковша выполняются с небольшим ($5\dots7^\circ$) уклоном для облегчения удаления настылей металла с футеровки после окончания разливки. Снаружи корпус обвязывается кольцом жёсткости, к которому крепятся цапфы для транспортировки и кантовки ковша. Для уменьшения тепловых потерь металла промежуточный ковш сверху закрывается металлической или футерованной крышкой. В ней имеются отверстия для ввода защитной трубы, через которую поступает жидкий металл из сталеразливочного ковша, для установки горелок при разогреве футеровки ковша и присадки на поверхность металла шлакообразующих смесей.

Для слива избыточного металла при возникновении аварийных ситуаций в промежуточном ковше предусмотрен сливной носок.

Футеровка ковша обычно выполняется из трёх слоёв: теплоизоляционного, арматурного и рабочего. Теплоизоляционный слой служит для снижения тепловых потерь металла и предотвращения тепловой деформации корпуса ковша. В качестве теплоизоляционных материалов применяются листовой асбест, легковесные оgneупорные материалы или шамотный¹ кирпич. Арматурный слой защищает корпус ковша от воздействия жидкого металла. Он обычно выполняется из шамотного кирпича. Рабочий слой футеровки может быть выполнен из шамотного, высокоглинозёмистого² или периклазоуглеродистого³ кирпича. Для повышения стойкости футеровки на рабочий слой может наноситься оgneупорная торкрет-масса. Стойкость рабочего слоя футеровки из шамотного кирпича составляет 4...5 плавок. Переход на футеровку из периклазоуглеродистого кирпича позволяет повысить стойкость футеровки в 1,5...2,0 раза.

Футеровка промежуточного ковша может быть выполнена наливным способом из самотвердеющей массы. Так стойкость монолитной футеровки при использовании порошков периклаза и хромовой руды почти вдвое выше, чем стойкость кирпичной

¹ Шамот – обожжённая оgneупорная глина.

² Глинозём (технический) – промежуточный продукт алюминиевой промышленности. Основным компонентом является $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

³ Периклаз – природный минерал, основу которого составляет оксид магния MgO , иногда с примесью FeO , MnO и др.

футеровки.

В месте падения струи жидкого металла из сталеразливочного ковша устанавливается отбойная плита из периклаза или муллита¹.

Для обеспечения минимальных тепловых потерь разливаемого металла перед началом разливки производится разогрев футеровки промежуточного ковша до 1200...1500 °C. Это производится при помощи горелок на специальном стенде – в резервной позиции. Такие разогреваемые промежуточные ковши называются горячими.

В последнее время достаточно широко применяются промежуточные ковши без предварительного разогрева – холодные ковши. В качестве рабочего слоя в таких ковшах используются огнеупорные плиты толщиной около 30 мм. Плиты изготавливаются из волокнистых материалов (например, асбеста) на основе кремнезёма (80...90 % SiO₂) или периклаза (70...85 % MgO) и связки. Швы между плитами уплотняются быстротвердеющей обмазкой. Стойкость таких ковшей равна 8...10 плавкам. Разогреву подвергаются только стаканы, стопора и защитные трубы. Существенно снижаются затраты на выполнение футеровки ковша.

За рубежом очень широкое применение получили промежуточные ковши с монолитной футеровкой из бетона. Для её изготовления используются низкоцементные² алюмосиликатные огнеупорные бетоны (63...68 % Al₂O₃, 29...34 % SiO₂, 1...2 % стальных волокон) с добавлением андалузитового³ порошка. Стоимость бетонной футеровки гораздо выше, чем кирпичной. Однако высокие затраты быстро компенсируются благодаря очень высокой стойкости бетонной футеровки (от 400 до 1000 и выше плавок). Очень ответственными и продолжительными являются операции сушки и разогрева ковшей с такой футеровкой. Так сушка бетона осуществляется в течение шести суток, а ступенчатый разогрев – в течение 24 ч. В целом же процесс изготовления бетонной футеровки осуществляется за 11 суток.

¹ Муллит – алюмосиликатное соединение 3 Al₂O₃·2 SiO₂.

² Цемент – вяжущее вещество.

³ Андалузит – минерал Al₂O₃·SiO₂. Чистый андалузит содержит 63,1 % Al₂O₃ и 36,9 % SiO₂. При температуре 1380...1410 °C диссоциирует на муллит и кристобалит (SiO₂) с увеличением объёма на 3,0...5,4 % (отн.).

В разливочные отверстия в днище промежуточного ковша устанавливаются стаканы-дозаторы. Эти стаканы выполняются в зависимости от условий разливки из шамота, муллито-корунда¹, корунда, периклаза, оксида циркония и других материалов.

При разливке *закрытой струёй* стакан-дозатор кроется либо сверху стопором, либо снизу шиберным затвором. Стопора применяются значительно чаще. Стопор состоит из металлического стержня или трубы с нанизанными оgneупорными катушками, либо из монолитного блока. Катушки выполняются из шамота или высокоглинозёмистого материала, нижняя часть (пробка) – из периклазоуглеродистого, шамотнографитового² или корундографитового материалов. Для изготовления монолитного блока используются корундографитовые материалы. Схема разливочного узла промежуточного ковша со стопорным устройством приведена на рис. 3.6.

В рассматриваемом варианте стакан-дозатор промежуточного ковша кроется сверху пробкой стопора. Шиберный затвор, прикреплённый к нижней части корпуса ковша, не используется для регулирования подачи металла в кристаллизатор. Он служит только для аварийного прекращения подачи жидкого металла в случае некрытия стопором стакана-дозатора.

Регулирование поступления металла из промежуточного ковша в кристаллизатор при помощи шиберного затвора применяется реже. Это объясняется тем, что для этого недопустимо использование обычных двухплитных затворов, так как в результате перемещения нижней плиты затвора со стаканом-коллектором струя жидкого металла будет отклоняться от оси кристаллизатора. Вследствие этого может возникнуть размывание корки затвердевшего металла по периметру кристаллизатора. Поэтому в основном используются более сложные и дорогие трёхплитные затворы с неподвижными крайними плитами и подвижной средней плитой. Перемещение плиты производится при помощи электрического или гидравлического привода.

На рис. 3.6 показан погружной стакан с двумя боковыми выходными отверстиями. В данном случае отверстия наклонены вниз на угол 25°. Однако эти отверстия могут выполняться и го-

¹ Корунд – минерал, природный безводный глинозём Al_2O_3 ; оgneупорные изделия из корунда содержат более 90 % Al_2O_3 .

² Графит – одна из полиморфных модификаций углерода, принадлежит к группе минералов углерода.

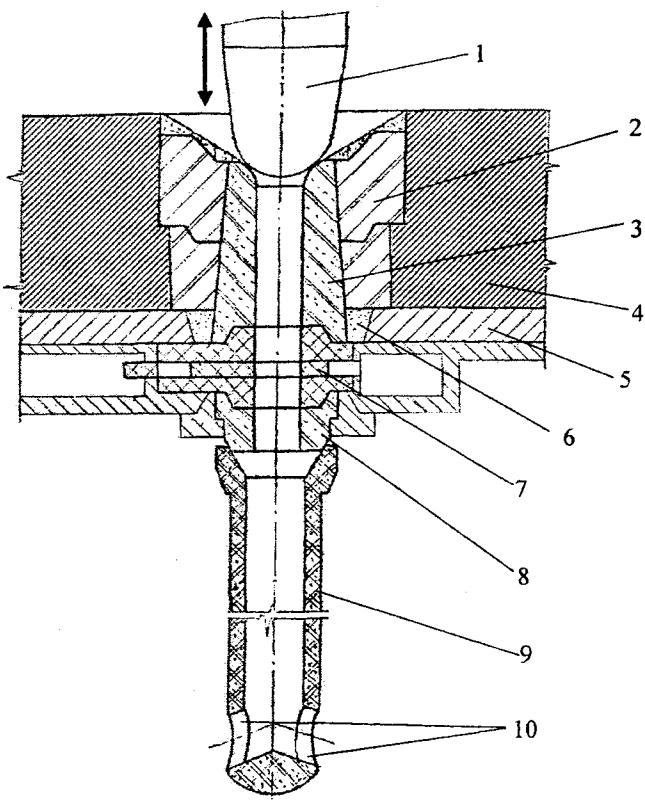


Рис. 3.6. Схема разливочного узла промежуточного ковша со стопорным устройством слябовой МНЛЗ:

- 1 – пробка стопора;
- 2 – гнездовой кирпич;
- 3 – стакан – дозатор;
- 4 – футеровка ковша;
- 5 – корпус ковша;
- 6 – огнеупорная засыпка;
- 7 – подвижная плита шиберного затвора;
- 8 – стакан – коллектор;
- 9 – погружной стакан;
- 10 – выходные боковые отверстия

ризонтальными или даже с наклоном вверх. Всё зависит от того, какое направление циркуляционных потоков необходимо полу-

чить для лучшего удаления из металла неметаллических включений. Решение о выборе конкретного варианта расположения выходных отверстий обычно принимается после выполнения исследований на модели. Погружные стаканы с боковыми отверстиями применяются на слябовых МНЛЗ. Потоки металла направляются к дальним узким граням отливаемой заготовки.

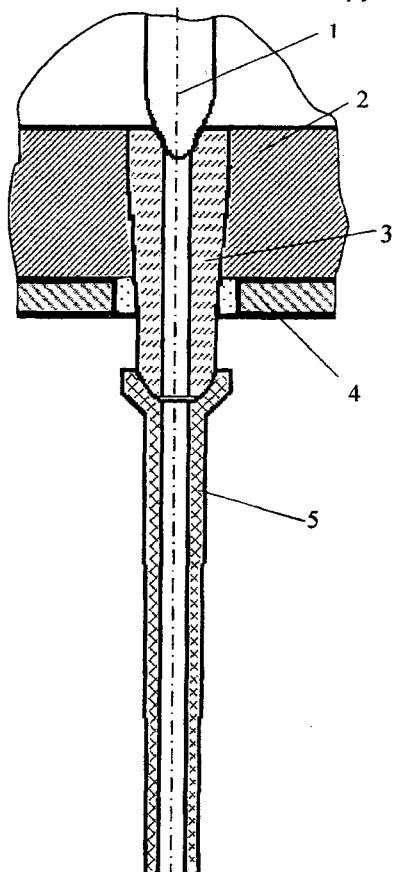


Рис. 3.7. Схема разливочного узла промежуточного ковша сортовой МНЛЗ:
1 – стопор; 2 – футеровка;
3 – стакан-дозатор;
4 – корпус ковша;
5 – погружной стакан

На сортовых машинах погружные стаканы имеют одно выходное отверстие по оси стакана. Это вызвано тем, что расстояние между наружной кромкой погружного стакана и затвердевшей коркой сортовой заготовки имеет небольшую величину. Обычно погружной стакан выполняется с наружной конусностью. Схема разливочного узла с таким стаканом приведена на рис. 3.7.

Погружные стаканы изготавливаются из плавленого кварца с 99,5 % SiO_2 или из корундографита. Для замены погружных стаканов имеется рычажный механизм, прикреплённый к корпусу ковша.

На сортовых МНЛЗ при отливке заготовок небольшого сечения из стали определённого сортамента возможна только разливка *открытой струёй*. При этом разливочные стаканы промежуточного ковша остаются открытыми. Перед

началом разливки в промежуточный ковш над разливочными отверстиями устанавливаются, так называемые, стартовые трубы. Они представляют собой короткие тонкие трубы из шамота разной высоты. Обычно их высота составляет 300...400 мм. Изменением высоты стартовой трубы можно влиять на очерёдность подачи металла в любой ручей МНЛЗ. Например, установив самые короткие стартовые трубы над крайними отверстиями промежуточного ковша на рис. 3.5, можно в первую очередь запустить первый и пятый ручьи сортовой МНЛЗ. Применение стартовых труб позволяет также избежать попадания шлака и остатков футеровки в кристаллизаторы при запуске ручьёв и отказаться от использования аварийных желобов, предназначенных для приёма под промежуточным ковшом первых порций металла вместе со шлаком. Это способствует исключению потерь первых порций металла в количестве 2...4 т на пятиручьевую МНЛЗ, направляемых в аварийные ёмкости, и увеличению выхода годного металла. В процессе разливки стартовые трубы разрушаются и всplывают в шлаковый пояс, не создавая препятствий подаче жидкого металла в разливочные стаканы в конце разливки серии плавок.

Регулирование поступления жидкого металла в кристаллизаторы при разливке открытой струёй производится путём быстрой (в течение долей секунды) замены стаканов, имеющих калиброванные отверстия разных размеров (в дальнейшем – калиброванных стаканов). При этом каждый новый стакан, выбиная старый стакан, занимает его место. Корпус калиброванного стакана изготавливается из корундового бетона (около 95 % Al_2O_3), а вставку стакана – из оксида циркония. Схема разливочного узла промежуточного ковша для разливки открытой струёй показана на рис. 3.8. Перед началом разливки под разливочным стаканом устанавливается заглушка. Для замены – отстрела стаканов имеется специальный механизм.

Защитная труба-воронка на участке между сталеразливочным и промежуточным ковшами изготавливается из шамотографита, муллитографита или плавленого кварца. Установка и перемещение трубы осуществляется при помощи специального рычажного механизма.

В типовых промежуточных ковшах довольно часто в жидкий металл подаётся инертный газ, как правило, аргон. Подача газа в нижнюю часть перегородок ковша позволяет создавать на входе в фильтрующие отверстия перегородки подвижную завесу

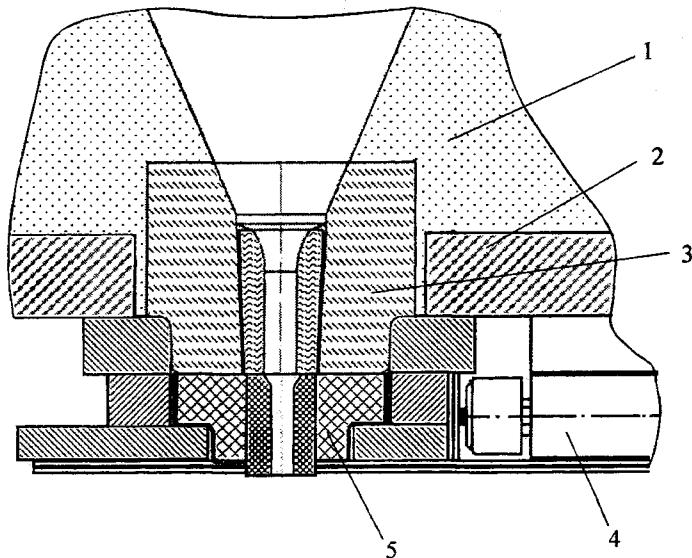


Рис. 3.8. Схема разливочного узла промежуточного ковша для разливки открытой струёй:

- 1 – футеровка ковша;
- 2 – корпус ковша;
- 3 – разливочный стакан со вставкой;
- 4 – часть специального механизма замены калиброванного стакана;
- 5 – калиброванный стакан со вставкой

из поднимающихся газовых пузырьков. Это способствует флотации неметаллических включений и рафинированию металла.

В случае подвода газа через газопроницаемые вставки в стаканах-дозаторах или через трубку и пробку стопора создаются благоприятные условия для удаления отложений из неметаллических включений, препятствующих нормальному регулированию подачи металла в кристаллизатор.

Кроме типовых промежуточных ковшей используются и ковши специальной конструкции. Такие ковши предназначены для выполнения дополнительных функций воздействия на разливаемый металл:

- вакуумной обработки;
- электромагнитного перемешивания;

- вибрационного воздействия;
- подогрева.

Целью вакуумной обработки является удаление из жидкого металла части растворённых газов. Электромагнитное перемешивание способствует рафинированию металла от неметаллических включений и улучшению структуры затвердевающего металла. Вибрационное воздействие предназначено для воздействия на кристаллическое строение отливаемой заготовки путём более быстрого снятия перегрева металла. Возможность дополнительного подогрева позволяет разливать переохлаждённый металл и отказаться от чрезмерного его перегрева в сталеплавильных агрегатах и на агрегате "печь-ковш".

3.3. Устройства для перемещения и подъёма промежуточного ковша

Устройства для перемещения и подъёма промежуточного ковша должны обеспечивать:

- минимальную продолжительность замены промежуточного ковша при работе методом "плавка на плавку", так как перерыв в поступлении металла в кристаллизатор не должен превышать одной минуты;
- подъём – опускание промежуточного ковша на величину 600...800 мм для замены удлинённых погружных стаканов;
- поперечное перемещение промежуточного ковша для компенсации неточной установки погружных стаканов и в случае перехода на разливку слябов другой ширины;
- взвешивание промежуточного ковша с металлом.

Устройства для перемещения и подъёма промежуточного ковша бывают двух типов: подъёмно-поворотные столы и тележки с механизмами подъёма и перемещения.

Поворотные столы применяются ограниченно, в основном на МНЛЗ с передвижными сталеразливочными стендаами. Принципиальная схема поворотного стола приведена на рис. 3.9.

Основным опорным элементом стола является вертикальная колонна. На колонну крепится траверса для установки двух ковшей. Поднимание и опускание траверсы производится при помощи гидроцилиндра. Стол оснащён электроприводом поворота с редуктором. Промежуточный ковш фиксируется на траверсе специальными штырями, смещением которых достигается

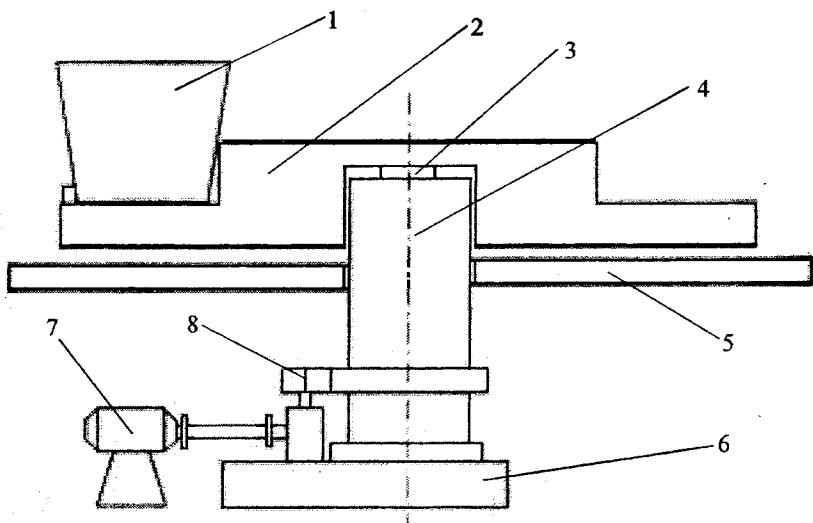


Рис. 3.9. Схема поворотного стола промежуточного ковша:
 1 – промежуточный ковш; 2 – траверса;
 3 – гидроцилиндр; 4 – колонна; 5 – рабочая
 площадка; 6 – основание колонны;
 7 – электродвигатель; 8 – привод поворота

изменение положения погружных стаканов относительно оси кристаллизаторов. Для получения информации о массе металла в промежуточном ковше используется установленный на траверсе тензометрический датчик.

На МНЛЗ с передвижными сталеразливочными стендами в качестве устройства перемещения и подъёма промежуточного ковша применяются также тележки. Один из вариантов такой тележки показан на рис. 3.10.

Тележка полупортального типа прямолинейно перемещается по двум рельсам, один из которых расположен на разливочной площадке, а другой – на колонне. Такая тележка чаще всего применяется на МНЛЗ с откатным сталеразливочным стендом полупортального типа. Она имеет механизм для подъёма – опускания промежуточного ковша.

На МНЛЗ, снабжённых подъёмно-поворотными сталераз-

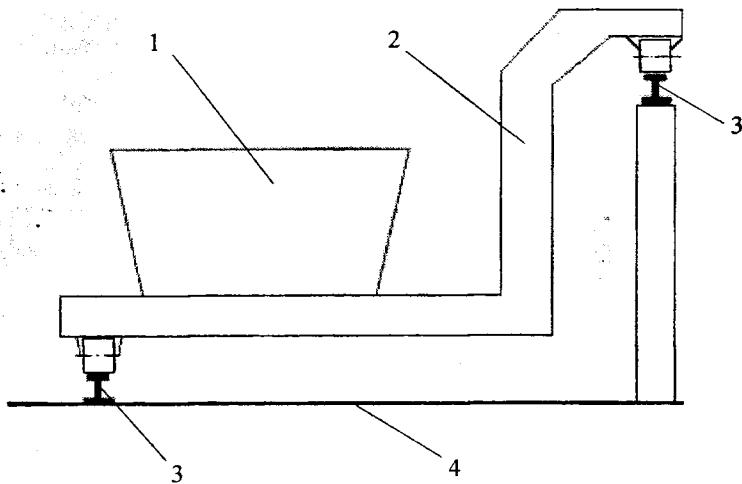


Рис. 3.10. Схема тележки промежуточного ковша:

- 1 – промежуточный ковш;
- 2 – тележка;
- 3 – рельсы;
- 4 – уровень рабочей площадки

ливочными стенами, широко используются тележки с вертикальным перемещением промежуточного ковша и массоизмерительным устройством. Схема такой тележки представлена на рис. 3.11.

Тележка перемещается по двум круговым рельсам: верхнему и нижнему. Нижний рельс размещается на разливочной площадке, а верхний – на колонне поворотного стендса для ста-леразливочных ковшей. Отличительной особенностью тележки является консольное выполнение подъёма платформы, на которой установлен промежуточный ковш. Это обеспечивает подъём промежуточного ковша на высоту до 0,8 м, свободный доступ к кристаллизаторам в процессе разливки и хороший обзор поверхности металла в них.

Тележка снабжена устройством для центрирования промежуточного ковша относительно кристаллизаторов.

Продолжительность перемещения промежуточного ковша из резервной позиции в рабочую не превышает 30 с.

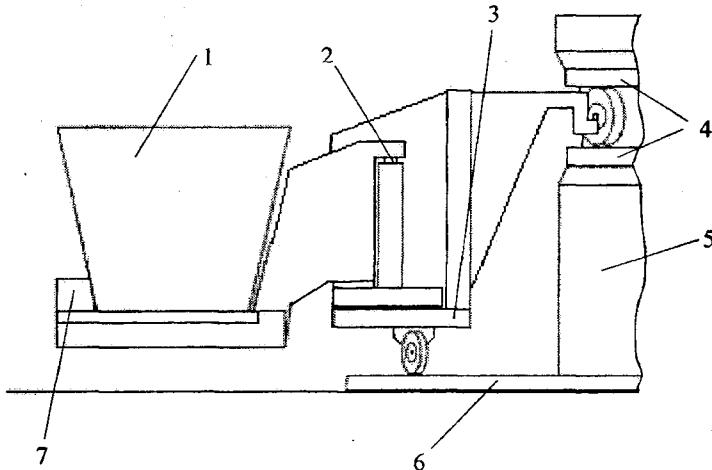


Рис. 3.11. Схема тележки промежуточного ковша:

- 1 – промежуточный ковш;
- 2 – механизм подъёма;
- 3 – тележка;
- 4 – верхний круговой рельс;
- 5 – колонна поворотного стенда;
- 6 – нижний круговой рельс;
- 7 – механизм перемещения ковша относительно кристаллизаторов

3.4. Кристаллизатор

Кристаллизатор является одним из самых важных узлов МНЛЗ.

В кристаллизаторе жидкая сталь подвергается первичному охлаждению циркулирующей водой. Кристаллизатор должен обеспечить интенсивный отвод тепла от жидкого металла. В нём отводится до 30 % от общей теплоты расплава для непрерывного формирования по всему периметру кристаллизатора затвердевшей корочки заготовки. На выходе из кристаллизатора отливаемая заготовка представляет собой сосуд с оболочкой из затвердевшего металла и расплавом внутри. Эта оболочка должна быть достаточной толщины и прочности для того, чтобы выдерживать внутреннее ферростатическое давление жидкого металла.

ла, наружное давление поддерживающих устройств и растягивающие усилия от вытягивания заготовки из кристаллизатора.

Кристаллизатор должен обеспечивать формирование требуемой конфигурации поперечного сечения отливаемой заготовки.

Конструкция кристаллизатора должна обеспечивать высокую стойкость рабочей поверхности его стенок к истиранию.

Конструктивные и теплофизические характеристики кристаллизатора во многом определяют производительность МНЛЗ и качество отливаемой заготовки. Так при организации более интенсивного отвода тепла в кристаллизаторе появляется возможность повышения скорости вытягивания заготовки и роста производительности МНЛЗ. Многочисленные дефекты непрерывнолитой заготовки (продольные и поперечные горячие трещины, искажение профиля, складки, ужимины, плёны, паукобразные трещины и другие) зарождаются именно в кристаллизаторе.

Для обеспечения эффективной работы кристаллизатора существенное значение имеет выбор материала его рабочих стенок. Такой материал должен:

- иметь высокую теплопроводность;
- иметь высокую износостойчивость;
- сохранять стабильность механических свойств при высоких температурах;
- иметь низкую смачиваемость жидкой сталью;
- не оказывать вредного воздействия на поверхность заготовки в результате контакта при высоких температурах;
- быть не очень дорогим, чтобы его применение было экономически целесообразно.

Традиционно для изготовления рабочих стенок кристаллизатора применяется электролитическая медь. Этот материал обладает высокой теплопроводностью. Так коэффициент теплопроводности чистой горячедеформированной меди равен $410 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, что в 14...15 раз больше аналогичного параметра для стали. Однако медь не полностью отвечает вышеупомянутым требованиям к материалу рабочих стенок кристаллизатора.

Она имеет относительно низкие предел прочности (60 МПа при 20°C) и температуру разупрочнения (250°C). Вследствие низкой износостойкости меди происходит повышенное истирание рабочих стенок кристаллизатора в нижней его части, осо-

бенно узких стенок слябового кристаллизатора. При высоких скоростях вытягивания заготовки из кристаллизатора температура рабочей поверхности его стенок близка к температуре разупрочнения меди. Это может привести к пластической деформации поверхностного слоя стенок кристаллизатора, что часто служит причиной раскрытия стыка широких и узких стенок. Поэтому стойкость кристаллизаторов с медными стенками является явно недостаточной в условиях высокопроизводительной работы МНЛЗ методом "плавка на плавку".

Несмотря на использование шлакообразующих смесей в кристаллизаторе, служащей смазкой между рабочими стенками и заготовкой, иногда происходит прилипание жидкой стали к медной поверхности стенок. Это может привести к подвисанию затвердевшей корочки заготовки и образованию поперечных трещин.

Одной из причин образования мелких паукообразных трещин на поверхности непрерывнолитой заготовки является внедрение в её поверхностный слой меди при истирании стенок кристаллизатора с образованием легкоплавких соединений.

Таким образом, медь не является лучшим материалом для стенок кристаллизатора.

Температуру разупрочнения материала можно увеличить, применяя медь, легированную оловом, хромом, кремнием, магнием, никелем. Однако такие материалы имеют значительно меньшую теплопроводность. Довольно широкое применение для изготовления узких стенок слябовых кристаллизаторов получил сплав меди с серебром МСр (0,1 % Ag). Такой холоднодеформируемый сплав при незначительном снижении теплопроводности – до 380 Вт/(м²·К) обладает по сравнению с медью более высокой прочностью (220 МПа при 20 °C) и температурой разупрочнения (350 °C). Это позволяет повысить износостойкость узких стенок и уменьшить вероятность раскрытия стыков между узкими и широкими стенками кристаллизатора. Для изготовления узких стенок кристаллизатора также опробованы такие материалы, как сплав меди с никелем, кобальтом, кремнием и хромом – МН2,5КоКрХ, хромовые и хромоциркониевые бронзы.

Перспективным направлением повышения стойкости стенок кристаллизатора из меди и её сплавов является нанесение на рабочую поверхность стенок защитного покрытия из износостойких материалов. Защитное покрытие может наноситься раз-

личными способами: гальваническим, напылением, наплавкой, плакированием меди листовым материалом.

В настоящее время наиболее распространённым является гальванический способ нанесения покрытия. Хромирование рабочих стенок сортовых кристаллизаторов небольшой толщиной – 0,15 мм позволяет увеличить их стойкость в несколько раз. Для слябовых кристаллизаторов такая толщина покрытия является недостаточной из-за быстрого истирания при прохождении захоложенных концов слябов. При нанесении более толстого покрытия возможно его отслоение из-за существенной разницы коэффициентов теплового расширения хрома и меди.

Никелевое покрытие обладает лучшим сцеплением с медью, но имеет меньшую износстойкость. Поэтому никель обычно наносят более толстым слоем. Довольно часто никелевое покрытие выполняется переменным по высоте стенки – от 1 мм вверху до 3 мм внизу. Перспективным является переменное по высоте стенки кристаллизатора покрытие на железо-никелевой основе (4...10 % Fe).

Известны случаи нанесения трёхслойного покрытия со слоями из разных материалов (никеля, сплава никеля с полонием, хрома) различной толщины. Это позволяет повысить стойкость стенок в несколько раз, однако усложняется технология нанесения покрытия и увеличиваются затраты на его изготовление.

В настоящее время активно продолжаются разработки других способов нанесения защитного покрытия.

По общему принципу работы кристаллизатор представляют собой сквозную водоохлаждаемую форму из рабочих медных стенок с покрытием или без него, помещённую для жёсткости и прочности в стальной корпус. В зависимости от формы технологической оси МНЛЗ кристаллизаторы могут иметь прямолинейные или изогнутые (радиальные) рабочие стенки. Существует множество самых разнообразных конструкций кристаллизаторов. По области применения и способу изготовления все конструкции кристаллизаторов можно объединить в три большие группы:

- гильзовые;
- блочные;
- сборные.

Гильзовье кристаллизаторы применяются на сортовых МНЛЗ для отливки непрерывнолитых заготовок с максимальным размером сторон до 200 мм. Заготовки в основном имеют квад-

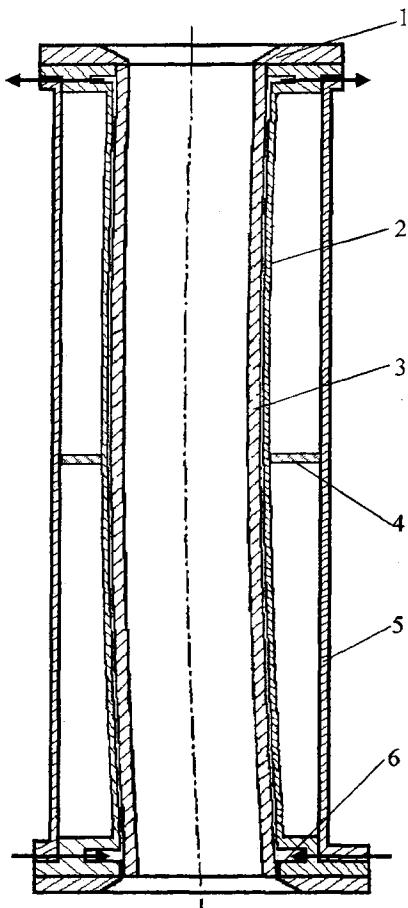


Рис. 3.12. Схема гильзового радиального кристаллизатора:
1 – фланец; 2 – корпус; 3 – гильза; 4 – рёбра;
5 – наружный корпус; 6 – уплотнение; (стрелки
указывают направление движения воды)

ратное поперечное сечение, могут быть круглыми, полыми и со сложным профилем.

Гильзовы кристаллизаторы изготавливаются из цельнотянутых медных труб со стенкой толщиной 5...20 мм. Внутренняя поверхность гильзы является рабочей стенкой кристаллизатора. Гильза крепится в стальном корпусе в верхней его части при помощи фланца, а в нижней части – с помощью уплотнения, допускающего свободное термическое удлинение для исключения деформации стенки. Для предотвращения коробления гильзы предусмотрено также наличие ребер жесткости. Охлаждающая вода движется по зазору шириной 4...7 мм между гильзой и корпусом, обеспечивая равномерный и интенсивный отвод тепла. Для отливки сортовых заготовок разного профиля существует множество разновидностей гильзовых кристаллизаторов, отличающихся размерами внутренней полости, деталями крепления гильзы, охлаждения и т.д. Схема одного из вариантов гильзового кристаллизатора приведена на рис. 3.12.

Такой кристаллизатор применяется на радиальной МНЛЗ. Изгиб отливаемой заготовке задаётся в радиальном кристаллизаторе с изогнутыми стенками. Геометрия внутренней поверхности кристаллизатора представляет собой параболический профиль, рассчитанный с учётом естественной усадки металла при затвердевании. Длина гильзы составляет 900 мм. Толщина стенки гильзы равна 15,5 мм, а стального корпуса – 8 мм. На внутреннюю поверхность гильзы нанесено хромовое покрытие толщиной 0,1 мм. Охлаждающая вода подаётся снизу в зазор шириной 4 мм между медной гильзой и корпусом и отводится – сверху. Расход воды на охлаждение гильзы составляет $70\ldots140 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Основными достоинствами гильзовых кристаллизаторов являются: возможность вытягивания заготовки из кристаллизатора с высокой скоростью вследствие интенсивного отвода тепла через тонкие стенки гильзы и отсутствия в нейстыков, простота конструкции, невысокая стоимость, низкий удельный расход меди, легкая смена изношенных гильз. К недостаткам можно отнести отсутствие возможности отливки крупных сортовых заготовок из-за недостаточной жёсткости тонкостенных гильз, а также непригодность гильз для ремонта. Главной причиной выхода из строя гильзовых кристаллизаторов является деформация их рабочих стенок.

Блочные кристаллизаторы служат для отливки многогранных, круглых, квадратных блумовых заготовок с размером сторон 200 мм и более. Они изготавливаются из медных поковок или отливок с полой серединой. Для их охлаждения в стенках толщиной 50…100 мм сверлятся вертикальные отверстия. Обычно отверстия имеют диаметр 20…22 мм и располагаются с шагом 40…60 мм. Медный блок для повышения прочности крепится в цилиндрическом стальном корпусе при помощи шпилек. Схема блочного кристаллизатора для отливки шестигранной блумовой заготовки представлена на рис. 3.13. Из рисунка видно, что медный блок имеет внутреннюю полость с обратной конусностью, то есть наблюдается небольшое уменьшение размеров в направлении сверху вниз. Это делается для того, чтобы уменьшить ширину газового зазора, образующегося при отходе затвердевшей корочки заготовки от рабочей стенки кристаллизатора вследствие усадки стали при затвердевании. Известно, что газовый зазор создаёт основное (более 70 % от общего термического сопротивления) препятствие отводу тепла в кристаллизаторе.

К достоинствам блочных кристаллизаторов относятся их

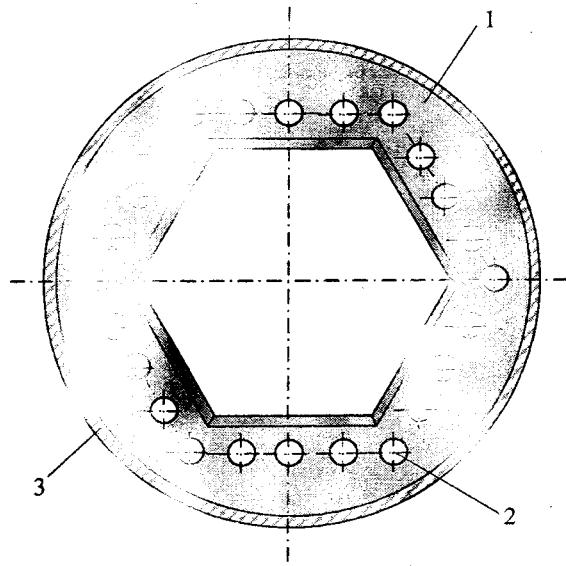


Рис. 3.13. Схема блочного кристаллизатора
для отливки шестигранной
блюмовой заготовки:
1 – медный блок; 2 – каналы для
охлаждающей воды; 3 – стальной
корпус

относительная долговечность и надёжность в работе вследствие отсутствия стыков между стенками. Однако удельный расход меди при их изготовлении очень высок, поэтому они являются очень дорогими. Ремонтировать медный блок возможно, но не очень удобно. При этом размеры внутренней полости блока увеличиваются, что не всегда допустимо. Наконец, в такой монолитной конструкции, особенно в углах, довольно часто происходит деформация стенок блока и образование трещин в результате термических напряжений. Это ведёт к снижению стойкости кристаллизатора и качества отливаемой заготовки. Поэтому в настоящее время блочные кристаллизаторы не применяются в промышленном масштабе.

Сборные кристаллизаторы широко применяются для отливки слябовых и крупных блюмовых заготовок. Они состоят из

четырёх отдельных медных стенок, каждая из которых для жёсткости крепится шпильками к своей стальной плите. По толщине используемых медных стенок кристаллизаторы подразделяются на тонкостенные и толстостенные. В тонкостенных кристаллизаторах применяются холоднодеформированная медь толщиной 15...25 мм, а в толстостенных - горячедеформированная медь толщиной 60...90 мм. Вода для охлаждения тонкостенного кристаллизатора подаётся между медной стенкой и стальной плитой. В толстостенных кристаллизаторах вода со скоростью 6...10 м/с подаётся в просверленные в медной плите цилиндрические каналы либо в фрезерованные каналы прямоугольной формы с наружной стороны медной плиты (рис. 3.14).

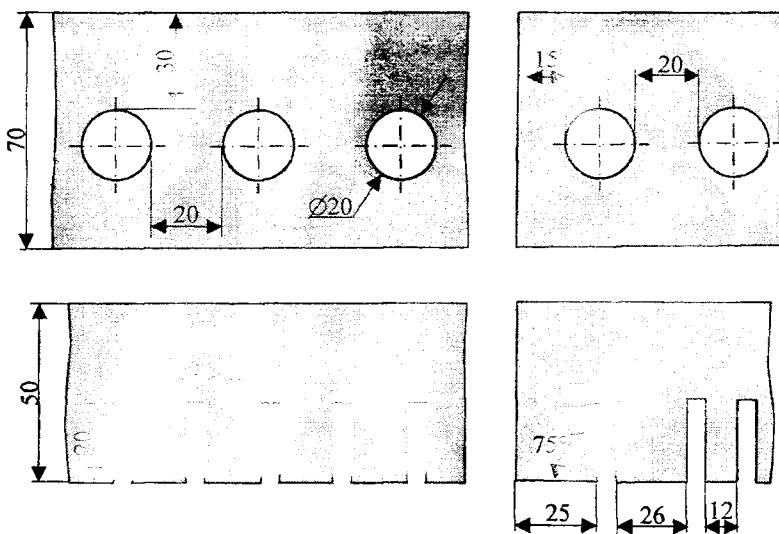


Рис. 3.14. Схемы фрагментов широких (слева) и узких (справа) медных стенок сборного толстостенного кристаллизатора с цилиндрическим (вверху) и прямоугольными (внизу) каналами охлаждения

При одинаковой полезной толщине медных плит величиной 30 мм общая толщина плит с фрезерованными каналами на

20 мм меньше, что позволяет уменьшить расход меди и затраты на изготовление стенок кристаллизатора.

На отечественных предприятиях предпочтение отдаётся толстостенным слябовым кристаллизаторам, обладающим большей жёсткостью и надёжностью в работе. Однако эти кристаллизаторы являются более дорогими из-за высокого удельного расхода меди.

Конструкция кристаллизатора во многом зависит от принятой системы охлаждения – прямоточной или петлевой. При прямоточной системе охлаждения каждая из четырёх стенок кристаллизатора имеет свой индивидуальный подвод и отвод воды. Вода подаётся к нижним торцам медных стенок, проходит по вертикальным каналам снизу вверх и направляется на слив. При этом обеспечивается интенсивное охлаждение рабочих стенок кристаллизатора и возможность вытягивания заготовки из кристаллизатора с более высокой скоростью, что ведёт к увеличению производительности МНЛЗ. Кроме того на выходе из прямоточной системы охлаждения вода имеет меньшую температуру, чем в петлевой системе, что благоприятно влияет на эффективность работы кристаллизатора. Это объясняется тем, что при нагреве неочищенной воды выше 40 °С из неё начинают интенсивно выделяться на стенках каналов солевые отложения, оказывающие дополнительное сопротивление отводу тепла от металла. Недостатком данной системы охлаждения является повышенный, примерно вдвое, расход воды.

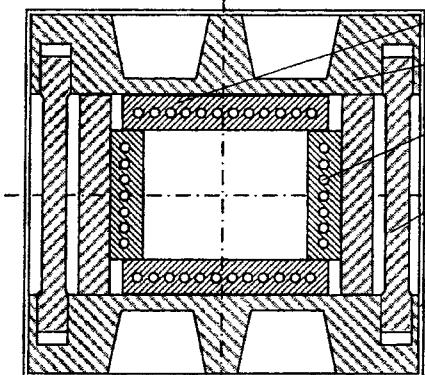
При петлевой системе движения воды все вертикальные каналы по периметру кристаллизатора объединяются в три секции. В крайние секции входят каналы узких стенок и по краям широких стенок. Средняя секция состоит из каналов центральных частей широких стенок. Вода вначале подаётся сверху вниз через крайние секции, затем идёт снизу вверх через среднюю секцию и направляется на слив. В такой системе вода проходит по каналам более протяжённый путь и может нагреваться до критической температуры. Поэтому в ней должна использоваться очищенная активированная вода. Основным достоинством петлевой системы является экономия расхода воды на охлаждение кристаллизатора. Для стенок с фрезерованными каналами при петлевой системе охлаждения расход воды примерно на 60 % ниже, чем для стенок с цилиндрическими каналами.

Стойкость сборных кристаллизаторов с медными плитами без защитных покрытий составляет 150...200 плавок. Этот пока-

затель примерно в два-три раза превышает аналогичный показатель для гильзовых кристаллизаторов (без покрытия) из-за возможности двух-трёх перестрочек при ремонте.

Все четыре медные стенки вместе с опорными стальными плитами стягиваются по боковым граням траверсами или болтами с пружинными компенсаторами и помещаются в металлический корпус. Схемы сборных кристаллизаторов для отливки блюмовой и слябовой заготовок приведены на рис. 3.15 и 3.16.

Кристаллизатор,



представленный на рис. 3.15, предназначен для отливки блюмовой заготовки прямоугольного поперечного сечения. В медных стенках толщиной 60 мм просверлены каналы диаметром 20 мм для циркуляции охлаждающей воды. Длина кристаллизатора равна 1,2 м. В верхней и нижней частях кристаллизатора вертикальные водяные каналы соединяются поперечными каналами. Медные стенки крепятся к опорным стальным плитам шпильками. Для стягивания стальных плит используются траверсы.

Рис. 3.15. Схема сборного блюмового кристаллизатора

(в поперечном разрезе):

- 1 – медная стенка;
- 2 – опорная стальная плита;
- 3 – каналы для воды;
- 4 – траверса; 5 - корпус

На рис. 3.16 показан один из вариантов конструкции сборного кристаллизатора с просверленными в толстых медных плитах каналами для отливки слябовой заготовки.

Для снятия термических напряжений в медных стенках и предотвращения образования зазоров между ними стяжки имеют пружинные компенсаторы.

Отличительной особенностью таких сборных кристаллизаторов является возможность изменения ширины отливаемой заготовки без снятия кристаллизатора с рабочего места. Для этого производится перемещение узких стенок при помощи ме-

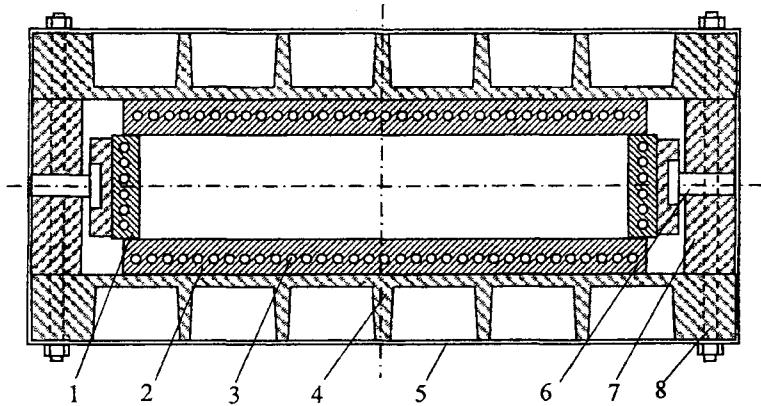


Рис. 3.16. Схема сборного слябового кристаллизатора (в поперечном разрезе) с толстыми медными стенками:
1 – узкая стенка; 2 – широкая стенка;
3 – сверлённые каналы для воды;

- 4 – широкая стальная плита; 5 – корпус;
6 – механизм перемещения узких стенок;
7 – боковая стальная плита; 8 – стяжка

ханизма с электромеханическим приводом. При этом может изменяться конусность узких стенок.

Известны конструкции кристаллизаторов, позволяющие изменять ширину отливаемой заготовки непосредственно в процессе разливки. Так за рубежом используются кристаллизаторы для регулирования ширины слябов от 950 до 2100 мм при толщине 250 мм. Максимальная величина разового изменения ширины заготовки составляет 200 мм. Длина кристаллизатора равна 700 мм. Узкие стенки кристаллизатора состоят из двух частей: верхней и нижней плит. Стык между плитами выполнен очень плотно для предотвращения затекания жидкого металла. Верхние и нижние части узких стенок можно попарно перемещать для получения требуемой ширины сляба. Скорость перемещения стенок равна примерно 15 мм/мин. Переходные участки сляба переменной ширины обжимаются вертикальными валками про-

катного стана до необходимой ширины. Конструкция кристаллизатора получается очень сложной и дорогостоящей. Поэтому для высокопроизводительных МНЛЗ, очевидно, она не может быть рекомендована.

Реально востребованными оказались комбинированные МНЛЗ для отливки слябовых заготовок с большим диапазоном изменения ширины. На таких машинах используется разделительная перегородка, вставляемая в полость кристаллизатора и делящего его на две части. При этом из каждого кристаллизатора уже можно вытягивать по две заготовки с различным соотношением их размеров по ширине. Поэтому двухручьевые МНЛЗ могут работать и в четырёхручьевом режиме. Для осуществления этого на машинах должен быть предусмотрен раздельный привод вытягивания всех заготовок. Схема установки в кристаллизатор разделительной перегородки показана на рис. 3.17.

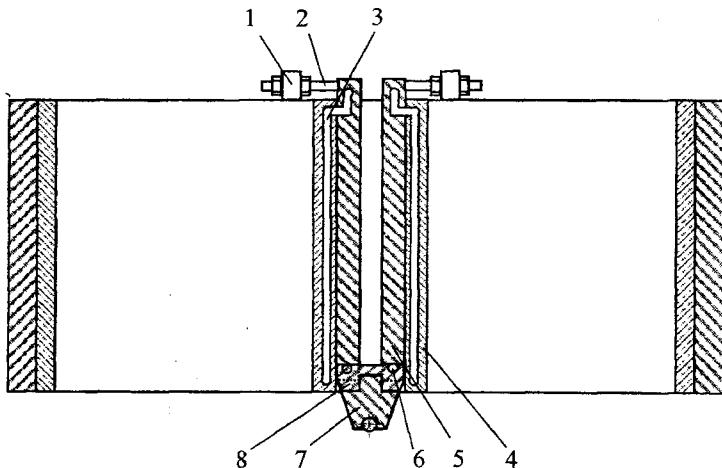


Рис. 3.17. Схема установки разделительной перегородки в слябовый кристаллизатор:
1 – упор; 2 – винт; 3 – канал для охлаждающей воды; 4 – медная плита; 5 – стальная плита; 6 – цилиндрический паз; 7 – нижняя планка; 8 – сменная скоба

Разделительная перегородка состоит из двух стальных и двух медных водоохлаждаемых плит. Нижняя часть стальных плит устанавливается в цилиндрические пазы сменной скобы, которая крепится в базовой нижней планке кристаллизатора.

Верхняя часть стальных плит удерживается винтами с проушинами. Для регулирования конусности медных плит соединённые с ними стальные плиты разделительной перегородки при помощи винтов поворачиваются относительно упоров, установленных на широких стенках кристаллизатора.

Сборные кристаллизаторы имеют самую различную длину – от 650 мм до 1200 мм. За рубежом при скоростях вытягивания заготовки из кристаллизатора до 1 м/мин применяются укороченные кристаллизаторы длиной 650...800 мм, а при скоростях более 1...1,2 м/мин – кристаллизаторы длиной не менее 900 мм. На отечественных МНЛЗ широко используются кристаллизаторы, имеющие длину 1200 мм. Преимуществом применения длинного кристаллизатора является более эффективное поддержание тонкой затвердевшей оболочки сляба. Однако в результате увеличения ширины газового зазора в нижней части кристаллизатора даже при наличии обратной конусности стенок теплоотвод значительно уменьшается и становится меньше, чем в зоне вторичного охлаждения. Поэтому появилась тенденция к применению кристаллизаторов меньшей длины (900...950 мм) с одним рядом поддерживающих роликов по широким граням сляба и двумя рядами роликов по узким граням заготовки, крепящихся на одной раме с кристаллизатором. В промежутки между роликами на поверхность сляба подаётся вода, образуя зону "подбоя".

3.5. Механизм качания кристаллизатора

Для предотвращения зависания затвердевшей корочки заготовки на стенках кристаллизатора и её разрывов кристаллизатору придаётся непрерывное возвратно-поступательное движение или качание.

При определённых условиях возможно локальное прилипание затвердевшей корочки заготовки к стенке кристаллизатора, вследствие чего образуется зона плотного контакта и корочка перестаёт скользить относительно стенки – происходит её зависание. При вытягивании заготовки в корочке увеличиваются рас-

тягивающие напряжения, в результате чего в нижней части зоны плотного контакта корочка может разорваться. В том случае, если за время нахождения заготовки в кристаллизаторе не произойдёт надёжного "затечивания" места разрыва новым затвердевшим металлом, то на выходе из кристаллизатора произойдёт аварийный прорыв жидкого металла.

Придание кристаллизатору возвратно-поступательного движения позволяет создать условия для полного "затечивания" места разрыва затвердевшей оболочки заготовки или предотвращения её разрыва. Перемещение кристаллизатора может происходить по различным законам. В настоящее время режим движения кристаллизатора в основном осуществляется по синусоидальному закону. Такой режим характеризуется плавным изменением скорости движения кристаллизатора, равенством максимальных скоростей и минимальным ускорением. В результате этого упрощается конструкция привода качания и повышается срок его службы. На рис. 3.18 показано изменение скорости движения кристаллизатора по синусоидальному закону.

Крайними точками хода кристаллизатора являются точки, в которых скорость его движения равна нулю. Из рис. 3.18 видно, что самой нижней точкой траектории перемещения кристаллизатора является точка "а", а самой верхней – точка "в". Продолжительность одного цикла перемещения кристаллизатора оценивается параметром $\tau_{цикла}$, значение которого складывается из времени движения кристаллизатора вверх – $\tau_{вверх}$ и вниз – $\tau_{вниз}$. Время движения вверх разбито на две части: $\tau_{вверх1}$ и $\tau_{вверх2}$.

За первый из этих промежутков времени кристаллизатор движется между точками "а" и "б" с плавным возрастанием скорости. Максимальное значение скорости достигается в точке "б", соответствующей среднему по высоте положению кристаллизатора. За второй промежуток времени по кривой "б" – "в" скорость перемещения кристаллизатора вверх постепенно снижается до нулевого значения. Точка "в" является самой высокой на траектории движения кристаллизатора. По кривой "в" – "г" – "д" – "е" – "а" происходит движение кристаллизатора вниз вначале с возрастающей (ветвь "в" – "д"), а потом с убывающей (ветвь "д" – "а") скоростями. При движении кристаллизатора происходит его знакопеременное воздействие на оболочку с разной интенсивностью. Во время движения кристаллизатора вверх с любой скоростью и вниз со скоростью, меньшей скорости вытягивания заго-

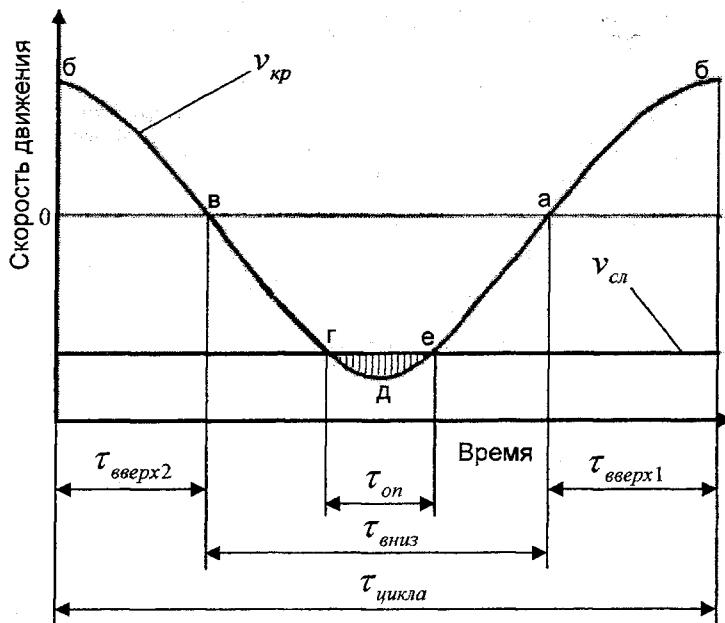


Рис. 3.18. Режим движения кристаллизатора по синусоидальному закону:

v_{kp} – скорость движения кристаллизатора;

$v_{сл}$ – скорость вытягивания слитка;

$\tau_{цикла}$ – продолжительность всего цикла перемещения кристаллизатора;

$\tau_{вниз}, \tau_{вверх}$ – время движения кристаллизатора вниз и вверх;

τ_{on} – время опережения кристаллизатором слитка

тавки, оболочка растягивается из-за трения о стенки кристаллизатора. При движении кристаллизатора вниз со скоростью, большей скорости вытягивания заготовки на участке кривой "Г" – "д" – "е", оболочка сжимается. Проскальзывание кристаллизатора относительно заготовки вниз способствует залечиванию имеющихся в ней разрывов. Продолжительность этого процесса характеризуется временем опережения τ_{on} . Время опережающего движения кристаллизатора относительно заготовки обычно

изменяется в диапазоне от 0,1 до 0,3 с. Его величина должна быть достаточной для надёжного залечивания разрывов оболочки заготовки и зависит от химического состава разливаемой стали. Так для пластичных низкоуглеродистых сталей с содержанием углерода менее 0,14 % допустимое время опережения составляет 0,10...0,12 с. Для сталей с содержанием углерода более 0,16 % оно равняется 0,15...0,20 с.

Задаваясь величиной допустимого времени опережения в соответствии с сортаментом разливаемой стали, на стадии проектирования новой МНЛЗ определяются требуемые частота и амплитуда качания кристаллизатора для значений максимальной скорости вытягивания заготовки. Частота характеризует количество качаний кристаллизатора в единицу времени – обычно за одну минуту. Амплитуда равна половине хода кристаллизатора между крайними точками траектории его перемещения.

Частота качания кристаллизатора зависит от скорости вытягивания заготовки. С ростом скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора прямо пропорционально увеличивается и частота качания кристаллизатора.

Негативным моментом кратковременного опережения кристаллизатором заготовки при возвратно-поступательном движении является образование на её поверхности следов качания – поперечных складок глубиной 0,1...1,5 мм. Складки представляют собой наплыты металла с высоким содержанием неметаллических включений на тонкую начальную корочку заготовки.

Для улучшения качества поверхности отливаемой заготовки стремятся получить большее количество складок на единице длины заготовки, характеризующихся меньшими глубиной заворота и загрязнённостью неметаллическими включениями. Это возможно при снижении расстояния между складками. Для этого необходимо увеличивать частоту качания кристаллизатора при уменьшении амплитуды его качания.

В последнее время отмечается тенденция увеличения частоты качания кристаллизаторов современных МНЛЗ до 300...400 циклов в минуту со снижением амплитуды перемещения до 2...3 мм. Разрабатываются и опробуются высокочастотные резонансные кристаллизаторы.

Конструкция механизма качания кристаллизатора должна обеспечивать получение заданной частоты и амплитуды качания, скорости вытягивания заготовки и минимального отклонения от технологической оси МНЛЗ.

Механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора состоит из устройства, обеспечивающего движение кристаллизатора по заданной траектории, и привода, осуществляющего определённый закон движения.

Существуют различные устройства механизма качания. Схемы основных вариантов устройств представлены на рис. 3.19.

Первые механизмы качания представляли собой качающиеся рамы с установленными на них кристаллизаторами (см. рис. 3.19, а, б). Один конец такой рамы крепился шарнирно к неподвижной опоре, а второй был связан с приводом. Основным достоинством такого устройства являлась его простота. Однако оно имело существенный недостаток, заключающийся в значительном горизонтальном перемещении кристаллизатора из-за крепления рамы-рычага в одной точке. Длинный рычаг подвергался механической и температурной деформации. В результате этого происходило смещение оси кристаллизатора относительно оси первой секции зоны вторичного охлаждения, что приводило к образованию дефектов в заготовке и даже аварийных прорывов жидкого металла.

Привод устройства первых механизмов качания осуществлялся с помощью кулачковых механизмов, связанных через редуктор с электродвигателем. Главным достоинством кулачковых механизмов является возможность осуществления движения кристаллизатора по любому кинематическому закону в зависимости от профиля кулачка. Однако при эксплуатации кулачки требуют постоянного контроля их состояния, быстро изнашиваются, увеличивая время простоев машины при замене. Снижение нагрузок на кулачки возможно путём установки гидроусилителей, однако это ведёт к усложнению конструкции и не получило широкого применения.

В настоящее время, как правило, используются механизмы качания, представляющие собой четырёхзвенные рычажные системы (рис. 3.19, в). Горизонтальное смещение кристаллизатора для вертикальных машин составляет не более $\pm 0,1$ мм, а для криволинейных машин при расположении рычагов относительно друг друга под углом, обеспечивающим их пересечение в центре кривизны кристаллизатора, это смещение уменьшается до $\pm 0,03$ мм. Для беспрепятственного обслуживания зоны вторичного охлаждения МНЛЗ краном компоновку рычагов следует выполнять со стороны стенки кристаллизатора по базовому радиусу.

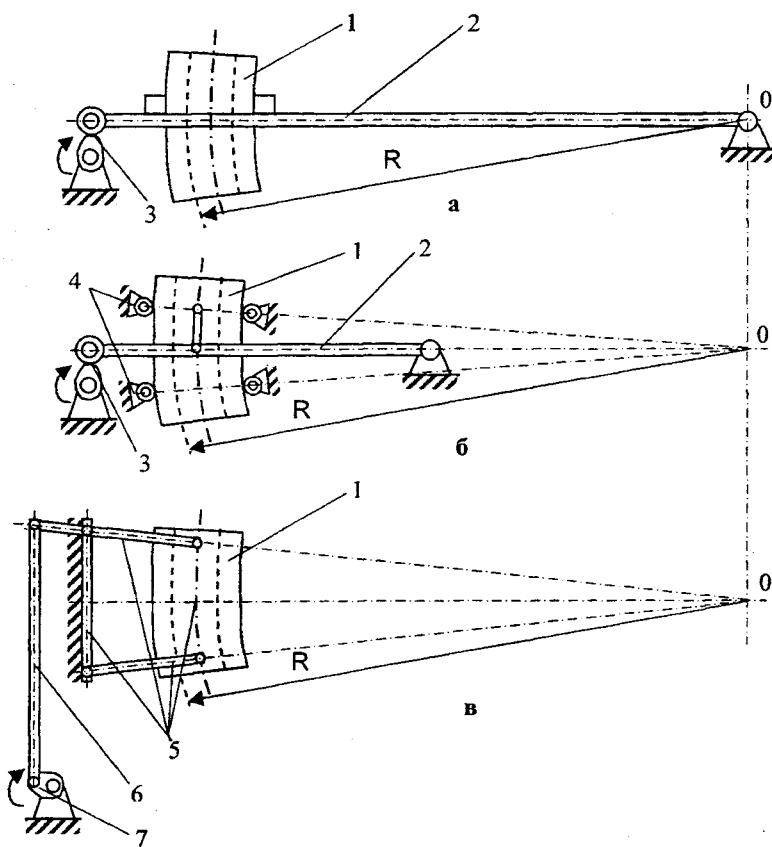


Рис. 3.19. Схемы различных вариантов механизма качания кристаллизатора: а – жёстко установленного на раме длиной, равной базовому радиусу МНЛЗ; б - установленного в роликовых направляющих; в – шарирного четырёхзвенного; 1 – кристаллизатор; 2 – несущая рама; 3 – кулачковый механизм; 4 – роликовые направляющие; 5 – шарирный четырёхзвенник; 6 – шатун; 7 – эксцентрик

На современных машинах широко применяются эксцентриковые системы качания, представляющие обычный кривошипный механизм. Безредукторный привод позволяет сократить число зазоров, вызывающих биения в соединениях при знакопеременных нагрузках на всех элементах механизма качания, и увеличить точность в работе. Электропривод постоянного или переменного тока связан с приводом тянувшего устройства МНЛЗ, обеспечивая синхронизацию скорости разливки и частоты качания кристаллизатора.

3.6. Зона вторичного охлаждения

Ниже кристаллизатора по технологической оси МНЛЗ располагается зона вторичного охлаждения (ЗВО) заготовки.

В этой зоне должны быть созданы оптимальные условия для обеспечения полного затвердевания непрерывнолитой заготовки.

В ЗВО заготовка находится в напряжённо-деформированном состоянии. Это обусловлено сжимающими усадочными воздействиями на её оболочку при затвердевании металла; распирающим ферростатическим давлением жидкого металла изнутри; чередованием термических воздействий при попадании охладителя на поверхность заготовки и без него при экранировании поддерживающими устройствами; растягивающими воздействиями из-за трения при вытягивании заготовки. Всё это оказывает существенное влияние на качество отливаемой заготовки.

Поэтому конструкция ЗВО должна обеспечивать:

- 1) надёжную поддержку заготовки в процессе длительной эксплуатации, особенно на выходе из кристаллизатора, для исключения аварийных прорывов жидкого металла и искажения её профиля;
- 2) оптимальные условия охлаждения при различной скорости вытягивания заготовки для стали разного сортамента;
- 3) минимальные потери времени на переналадку для изменения сечения отливаемой заготовки и быструю замену узлов при возникновении аварийных ситуаций.

Протяжённость зоны вторичного охлаждения зависит от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора, размеров поперечного сечения отливаемой заготовки и типа МНЛЗ.

Так на вертикальной МНЛЗ из-за возрастания затрат при строительстве и увеличения ферростатического давления столба жидкого металла её протяжённость ограничивается величиной 10...14 м. Процесс затвердевания металла здесь должен успеть закончиться к моменту входа заготовки в тянущее устройство. Поэтому на вертикальной МНЛЗ ограничивается скорость вытягивания заготовки и соответственно производительность машины.

На радиальной МНЛЗ метал должен затвердеть к моменту разгибания заготовки в тянуще-правильном устройстве. Таким образом, протяжённость ЗВО обычно равна длине одной четвёртой части дуги с базовым радиусом машины, то есть величине $\pi R/2$.

На криволинейных МНЛЗ зона вторичного охлаждения имеет наибольшую протяжённость. Этому способствует то, что процесс затвердевания металла должен закончиться к моменту входа заготовки в устройство для разделения заготовки на мерные длины. Выпрямление заготовки с ещё жидкой сердцевиной производится постепенно на криволинейном участке ЗВО.

3.6.1. Конструкция поддерживающих устройств

Поддерживающие устройства зоны вторичного охлаждения МНЛЗ состоят из опорных элементов. Чем больше поперечное сечение отливаемой заготовки и отношение её сторон, а также высота столба жидкого металла, тем большему деформирующему воздействию подвергается затвердевшая оболочка непрерывнолитой заготовки. Поэтому конструкция поддерживающих устройств слябовых, блюмовых и сортовых МНЛЗ существенным образом различается.

Слябовые МНЛЗ оборудуются опорными элементами по технологической оси до полного затвердевания заготовки. Опорные элементы поддерживают только широкие грани слябовой заготовки.

Вся система поддержки сляба условно делится на два участка. Сразу под кристаллизатором располагается верхний участок с опорными элементами без привода. За ним находится нижний участок с приводными опорными элементами для вытягивания заготовки. На верхнем участке в качестве опорных элементов применяются вертикальные брусья, решётки, плиты (такие эле-

менты характерны для вертикальных машин), шагающие балки, роликовые проводки. На нижнем участке для всех типов машин используются только роликовые проводки различной конструкции.

В верхней части ЗВО вертикальной МНЛЗ чугунные брусья (рис. 3.20, а) объединяются в секции и крепятся на опорных конструкциях. Они имеют толщину 70...80 мм и располагаются с шагом 180...210 мм. В промежутки между брусьями на поверхность заготовки подаётся охладитель. Достоинствами брусьевой поддерживающей системы являются простота её конструкции и эксплуатации, невысокая стоимость, небольшие затраты труда при ликвидации аварийных прорывов жидкого металла. К недостаткам относятся невозможность применения на других типах машин, неравномерность охлаждения поверхности заготовки под брусьями и между ними, растягивающие усилия в оболочке заготовки из-за трения о поверхность неподвижных брусьев, выпучивание граней заготовки на участках между брусьями и абразивный износ их.

За рубежом некоторые фирмы в качестве стационарных опорных элементов сразу под кристаллизатором вместо брусьев применяют специальные чугунные решётки или медные плиты. В отличие от брусьев решётками и плитами слябовая заготовка поддерживается со всех сторон. Решётки представляют собой ребристые плиты с проёмами (амбразурами) в виде окон разной формы и размеров (рис. 3.20, б). Эти окна используются для охлаждения поверхности заготовки путём подачи воды. По высоте решётки окна располагаются в шахматном порядке. Размеры окон обычно увеличиваются в направлении сверху вниз. Решётки крепятся к опорным рамам. Достоинством такого устройства является его простота и низкая стоимость, а основным недостатком – увеличение сопротивления вытягиванию заготовки за счёт трения.

Медные плиты или плитовые холодильники (рис. 3.20, в) выполняют две функции: по поддерживанию заготовки и её охлаждению. Вода циркулирует как внутри плиты, так подаётся и в зазор между плитой и заготовкой. Для этого на рабочей поверхности плиты имеются специальные пазы. Высота одной плиты равняется 0,25...0,30 м. Плиты ставятся в три-четыре ряда. К достоинствам такой конструкции можно отнести высокую эффективность и равномерность охлаждения заготовки даже при высокой скорости её вытягивания. Недостатками являются повышен-

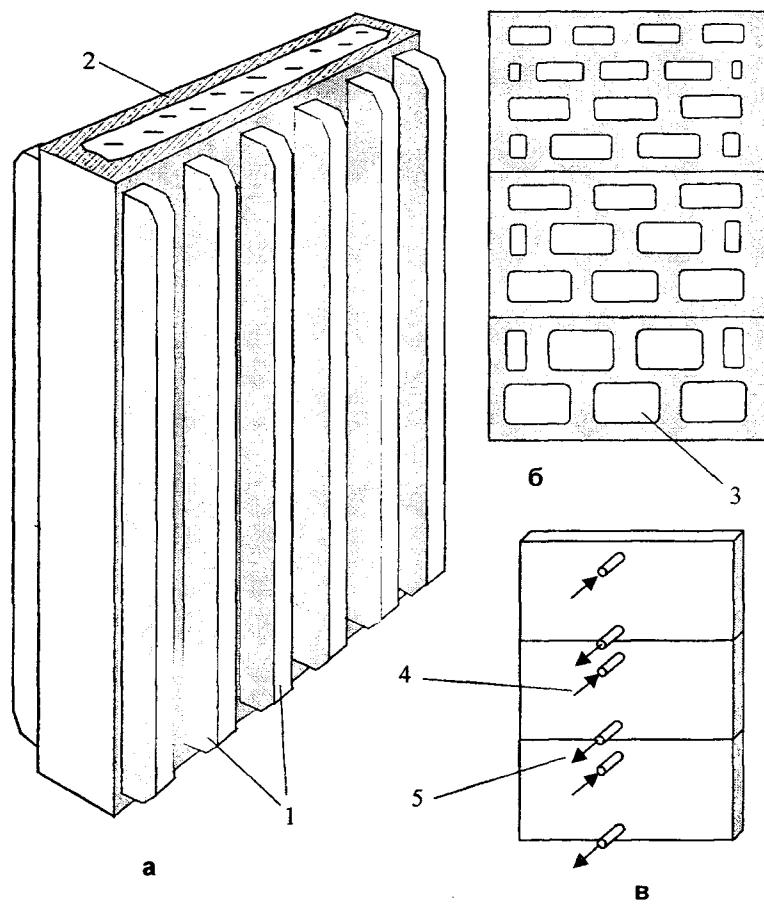


Рис. 3.20. Схема поддержки слябовой заготовки брусьями (а), решётчатыми (б) и плитовыми (в) холодильниками:
 1 – брусья; 2 – сляб; 3 – амбразура для подачи воды;
 4 – подвод воды в плиту; 5 – отвод воды из плиты

ное трение и высокая взрывоопасность закрытых полостей плит с водой при попадании в них жидкого металла в случае аварийных прорывов.

Эти недостатки стационарных конструкций опорных элементов верхней части ЗВО отсутствуют у подвижных элементов – шагающих балок. По широким граням сляба устанавливается ряд подвижных водоохлаждаемых балок на некотором расстоянии друг от друга (рис. 3.21).

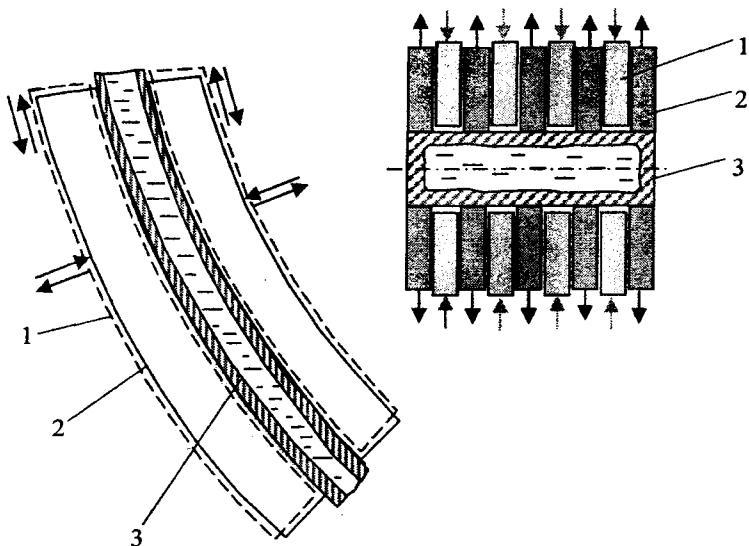


Рис. 3.21. Схема поддержки сляба шагающими балками:

- 1 – балка в отжатом приподнятом положении;
- 2 – балка в прижатом к заготовке опущенном положении;
- 3 – сечение слябовой заготовки

При помощи специального привода балки прижимаются к поверхности заготовки, совершая непрерывное возвратно-поступательное движение вниз-вверх. При перемещении вниз со скоростью вытягивания заготовки на шаг 25 мм они остаются прижатыми к ней. В самом нижнем положении балки отходят от

заготовки и возвращаются вверх в исходное положение. В синхронном перемещении участвует только половина балок, например, чётные по порядку расположения балки, а нечетные остаются неподвижными. Затем они меняются местами. Большим достоинством применения шагающих балок является отсутствие в оболочке вытягиваемой заготовки дополнительных деформирующих напряжений. Однако широкого применения они не получили вследствие очень сложной конструкции опорных элементов и их привода, а также сложной регулировки равномерного прижатия балок к заготовке.

Во всех современных МНЛЗ верхний и нижний участки ЗВО оборудованы роликовыми проводками.

На верхнем участке устанавливаются неприводные ролики небольшого диаметра – 140...160 мм для обеспечения минимально возможного промежутка между ними. Цельные ролики небольшого диаметра не обладают достаточной жесткостью. Поэтому они выполняются составными из нескольких частей с соответствующим количеством промежуточных опор. Так на рис. 3.22 приведена схема составного опорного элемента из трёх роликов с двумя промежуточными опорами.

В настоящее время широкое распространение получила конструкция опорного элемента в виде неподвижной многоопорной оси с надетыми на неё втулками с подшипниками. Схема такого устройства показана на рис. 3.23.

Охлаждение таких роликов осуществляется с внешней стороны одновременно с заготовкой. Поверхность роликов для лучшего охлаждения выполняется ребристой. Количество роликов небольшого диаметра, объединённых в одну – нулевую секцию под кристаллизатором, обычно составляет от пяти до семи пар. Эта секция совместно с кристаллизатором и рамой качания образуют съёмный блок для проведения быстрой замены оборудования при авариях и ремонтах. В случае необходимости нулевая секция ЗВО и кристаллизатор могут быть демонтированы раздельно.

В следующей за нулевой секции верхнего участка ЗВО диаметр роликов увеличивается до 180...220 мм из-за возрастающего ферростатического давления металла. В этой секции также объединяется пять-семь пар неприводных роликов. Ролики устанавливаются на подшипниках качения в подушках, фиксируемых на верхней и нижней рамках полусекций. Полусекции стягиваются шпильками и вся секция крепится к опорной станине

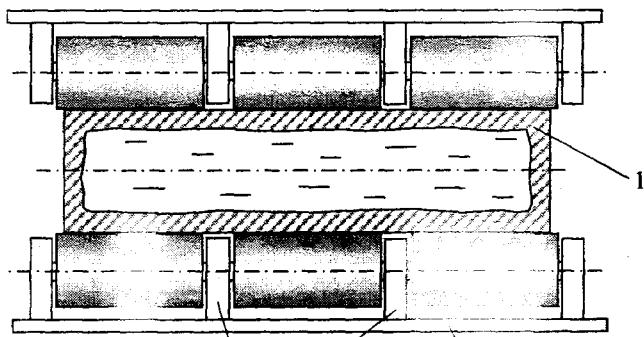


Рис. 3.22. Схема составного опорного элемента роликовой проводки под кристаллизатором:
1 – слябовая заготовка; 2 – ролик;
3 – промежуточные опоры

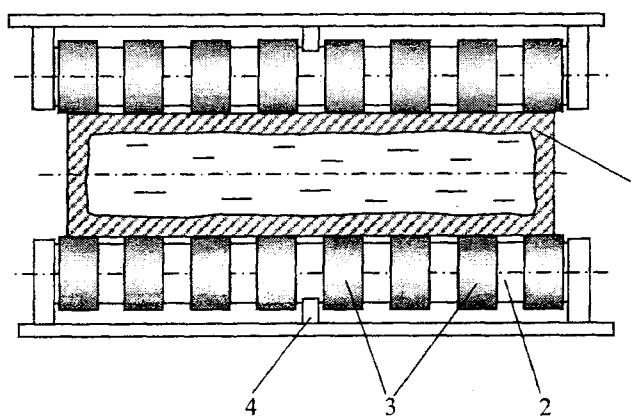


Рис. 3.23. Схема поддержки слябовой заготовки неприводными роликами с неподвижной осью: 1 – сляб; 2 – ось; 3 – ролики;
4 – промежуточная опора

металлоконструкции при помощи гидроцилиндров.

Нижний участок ЗВО состоит из роликовых секций, в которых имеется по одному – два приводных ролика, а остальные ролики привода не имеют. Приводные ролики располагаются со стороны большого радиуса заготовки, то есть в нижней части секции.

Роликовая секция состоит из нижней и верхней частей. В нижней стационарной водоохлаждаемой раме закреплены нижние ролики в подшипниковых узлах. Верхняя рама с верхними роликами обычно является подвижной. Она может перемещаться вверх-вниз для обеспечения вытягивания заготовки разной толщины, а также для предохранения роликов от поломки при проpusке захоложенных концов заготовки. Для перемещения верхней рамы на боковых стенках нижней рамы крепятся электромеханические или гидравлические устройства. Прижатие верхних роликов к слябовой заготовке осуществляется при помощи пружинных (см. рис. 3.24, а) или гидравлических (рис. 3.24, б) компенсаторов.

При отливке на МНЛЗ слябов одинаковой толщины роликовые секции ЗВО выполняются без устройства перемещения верхней рамы, что значительно упрощает их конструкцию (рис. 3.25).

Верхняя и нижняя рамы жёстко скрепляются тягой, фиксируемой при помощи клина. Необходимый раствор между роликами устанавливается при помощи сменных прокладок.

Приведённая на рис. 3.25 роликовая секция имеет отличительную особенность. Она заключается в том, что в каждом ряду секции используется по два верхних и нижних ролика. Для их крепления применяются промежуточные опоры. Промежуточная опора эксплуатируется в более тяжёлых условиях. Поэтому она должна иметь надёжную систему охлаждения и смазки. Каждый нижний ролик имеет индивидуальный привод. Это позволяет производить вытягивание из кристаллизатора одной или сразу двух (см. рис. 3.25) слябовых заготовок с разной скоростью. Такое конструктивное решение характерно для комбинированных слябовых МНЛЗ, работающих в двух- или четырёхручьевом режиме.

Роликовые секции участка выпрямления слябовой заготовки должны обеспечивать не только поддержание слитка и его вытягивание, но и правку изогнутого слитка. Эти секции и секции горизонтального участка МНЛЗ также должны обеспечивать проpusк невыправленных более холодных переднего и заднего концов заготовки. При этом на ролики оказывается сильное давле-

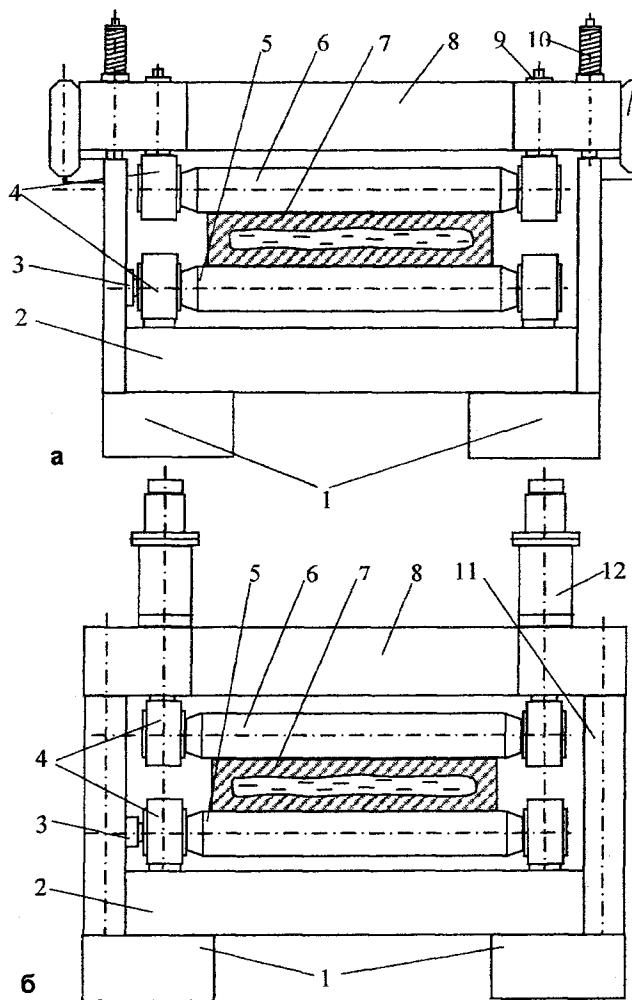


Рис. 3.24. Схема устройства роликовой секции с пружинными (а) и гидравлическими (б) компенсаторами:
 1 – фундамент; 2 – нижняя рама; 3 – привод ролика;
 4 – подшипники; 5 – нижний ролик; 6 – верхний ролик;
 7 – сляб; 8 – верхняя рама; 9, 10 – пружинные компенсаторы;
 11 – механизм перемещения верхней рамы;
 12 - гидроцилиндр

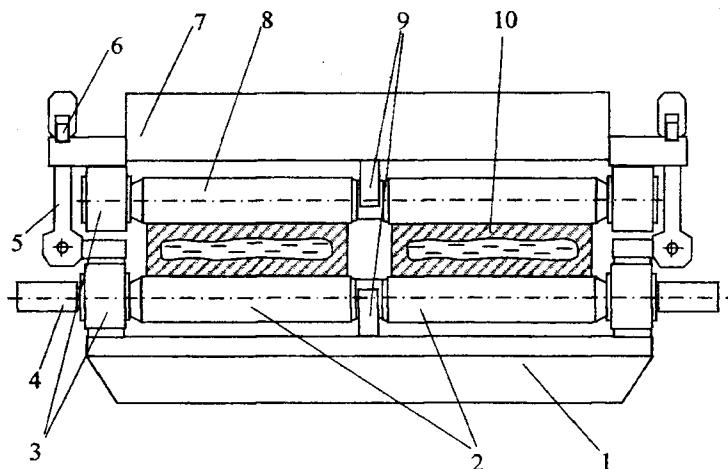


Рис. 3.25. Схема роликовой секции для поддержки и вытягивания одного или двух слябов в ручье: 1 – нижняя рама; 2 – нижние ролики; 3 – подшипники; 4 – привод ролика; 5 – тяга; 6 – клин; 7 – верхняя рама; 8 – верхний ролик; 9 – промежуточные опоры; 10 – слябовая заготовка

ние. Демпфирование (поджим) роликов часто производится при помощи гидроцилиндров. Однако присутствие гидравлики в горячей зоне машины снижает надёжность МНЛЗ и усложняет её обслуживание. Поэтому на отечественных машинах используются различные конструктивные решения.

Наиболее простым вариантом является схема для отливки слябов толщиной до 200...250 мм (рис. 3.26, а). По этой схеме используется только стационарная установка роликов.

Для снижения нагрузки на ролики от выпрямления сляба производится увеличение расстояния между правящими роликами – шага правки. Правка слябов толщиной до 350 мм осуществляется роликами большого диаметра (рис. 3.26, б), между которыми установлена четырёхроликовая плавающая кассета. При этом величина шага правки заготовки в три раза превышает шаг

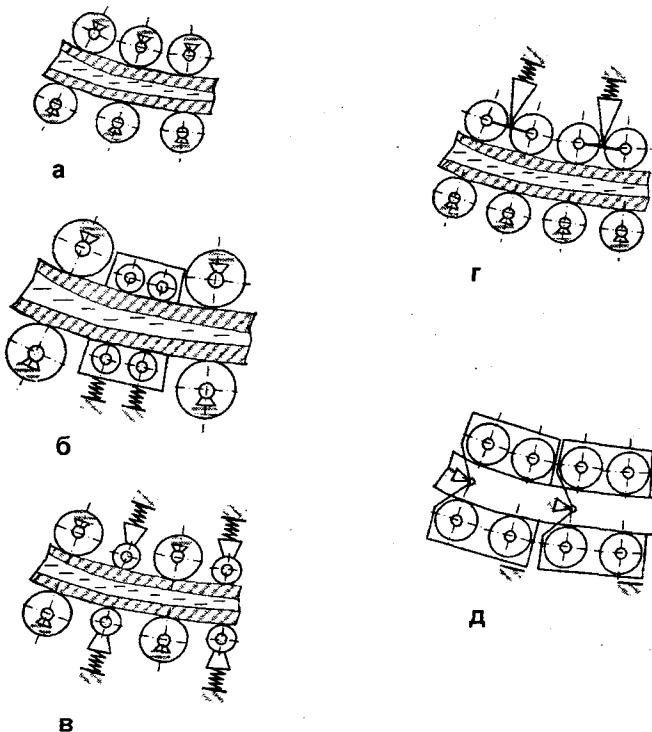


Рис. 3.26. Схемы поддержания сляба на участке его правки:
 а – со стационарной установкой роликов;
 б – с плавающей кассетой поддерживающих роликов;
 в – с подпружиненными поддерживающими роликами;
 г – с балансирующей установкой верхних роликов;
 д – с балансирующей установкой блоков роликов

её поддержания.

По другой схеме (рис. 3.26, в) применяется чередование стационарных роликов большого диаметра для правки сляба и подпружиненных роликов меньшего диаметра, воспринимающих только усилия от ферростатического давления.

Для увеличения шага правки верхние ролики в секции могут иметь балансирующую установку при стационарном исполнении

нижних роликов (рис. 3.26, г).

В последних конструкциях роликовых секций используются унифицированные балансирные блоки, состоящие из четырёх роликов (рис. 3.26, д). Первая пара роликов блока участвует в правке заготовки. Вторая пара роликов в правке не участвует. Она самоустанавливается по широким граням заготовки, воспринимая усилия от ферростатического давления. Это позволяет увеличить шаг правки вдвое.

Диаметр роликов по длине нижней части ЗВО постепенно увеличивается до 330 мм. Обычно применяются ролики с внутренним водяным охлаждением разной конструкции (рис. 3.27):

- монолитные (позиция "а");
- монолитные с наплавленной рабочей поверхностью (позиция "б");
- с бочкой из биметаллической трубы (позиция "в");
- с неохлаждаемым бандажом широким (позиция "г") или набранным из отдельных узких частей (позиция "д");
- с охлаждаемым бандажом (позиция "е").

На слябовых МНЛЗ с изогнутой технологической осью роликовые секции при необходимости ремонта роликов удаляются из машины и заменяются резервными при помощи крана или специальными манипуляторами по направляющим (секции радиального участка ЗВО).

Конструкция поддерживающих устройств блумовых и сортовых МНЛЗ имеет свои особенности. Это связано с тем, что в процессе формирования оболочки заготовки квадратного сечения быстро приобретает достаточную жёсткость, чтобы противостоять ферростатическому давлению жидкого металла.

Поэтому на сортовых машинах при отливке заготовок малого сечения вполне достаточно опорных элементов, находящихся на одной раме с кристаллизатором. Они представляют собой один – два ряда роликов, поддерживающих все четыре грани заготовки. В зоне вторичного охлаждения МНЛЗ имеются только роликовые направляющие для придания заготовке определённого направления при её температурных поводках и для введения жёсткой затравки. Роликовые направляющие выполнены в виде блоков, крепящихся на водоохлаждаемых сварных рамках, установленных на опорах. Каждый блок состоит из двух роликов: нижнего – фиксированного и верхнего – прижимного. Прижатие верхнего ролика к заготовке осуществляется при помощи противовеса. Нижний ролик обычно выполняется полым с внутренним ох-

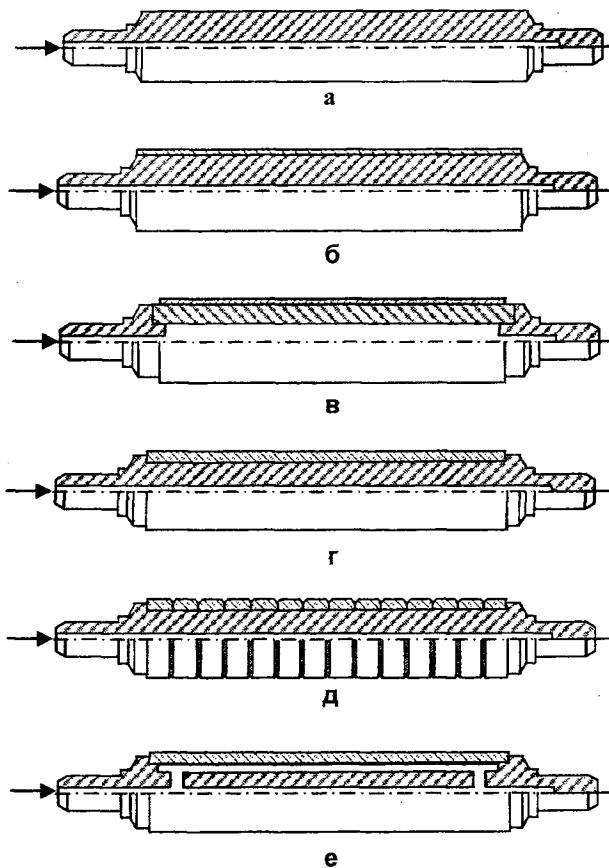


Рис. 3.27. Схемы роликов с внутренним водяным охлаждением разной конструкции:
 а – монолитные; б – монолитные с наплавленной рабочей поверхностью; в – с бочкой из биметаллической трубы; г – с неохлаждаемым широким бандажом; д – с неохлаждаемым наборным бандажом из отдельных узких частей; е – с охлаждаемым бандажом;
 стрелками показан подвод охлаждающей воды

лаждением. Он подключается к системе централизованной смазки. Верхний ролик не смазывается и охлаждается системой вторичного охлаждения заготовки.

На блюмовых МНЛЗ опорные элементы устанавливаются на длину 1...4 м в зависимости от размеров поперечного сечения отливаемой заготовки. Поддерживающие устройства объединены в одну-две секции с роликовыми проводками. Все ролики являются неприводными и поддерживают все четыре грани заготовки. Ролики первой секции охлаждаются вместе с заготовкой при распылении воды через форсунки. Во второй секции ролики выполняются водоохлаждаемыми. Шаг расположения роликов обычно соответствует ширине отливаемой заготовки.

Ниже поддерживающих секций располагаются роликовые направляющие. Количество направляющих зависит от типа машины и размеров сечения заготовки.

3.6.2. Охлаждение заготовки

В зоне вторичного охлаждения происходит окончательное затвердевание непрерывнолитой заготовки в результате теплоотвода излучением, конвекцией, при контакте заготовки с роликами и при подаче на её поверхность охладителя. В качестве охладителя обычно используется вода или водовоздушная смесь. Для подачи охладителя на поверхность заготовки используются специальные устройства системы вторичного охлаждения – форсунки.

Общая длина зоны вторичного охлаждения разбивается на отдельные зоны (секции) расстановки форсунок.

В первых зонах (обычно – не более трёх) сразу под кристаллизатором на современных МНЛЗ применяется водяное охлаждение заготовки. Вода в виде распылённого факела подаётся в зазоры между поддерживающими элементами – обычно роликами, на поверхность заготовки. Для этого используются механические (гидравлические) форсунки, в которые вода подаётся под давлением 0,2...0,5 МПа. Проходя через выходные отверстия – сопла определённой конфигурации, вода из-за перехода давлений самостоятельно разделяется на капли размером 0,2...1,0 мм и образует факел. Форма факела зависит от конструкции форсунки, формы и количества сопел.

Для охлаждения широких граней слябовой заготовки используются плоскофакельные форсунки с одним или несколькими соплами (рис. 3.28).

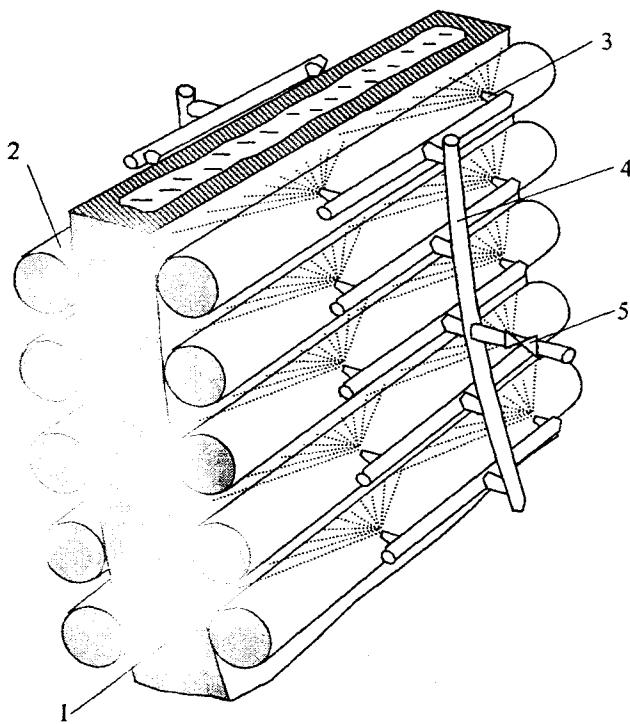


Рис. 3.28. Схема вторичного охлаждения слябовой непрерывнолитой заготовки:

- 1 – заготовка;
- 2 – опорный ролик;
- 3 – форсунка;
- 4 – подводящий коллектор;
- 5 – задвижка

Типичная плоскофакельная форсунка с одним соплом показана на рис. 3.29, а.

Вода подводится через цилиндрический канал, заканчивающийся полусферой. В ней вода дополнительно сжимается и выбрасывается через щелевое сопло. При выходе из сопла образуется плоский факел с углом раскрытия 60...130°.

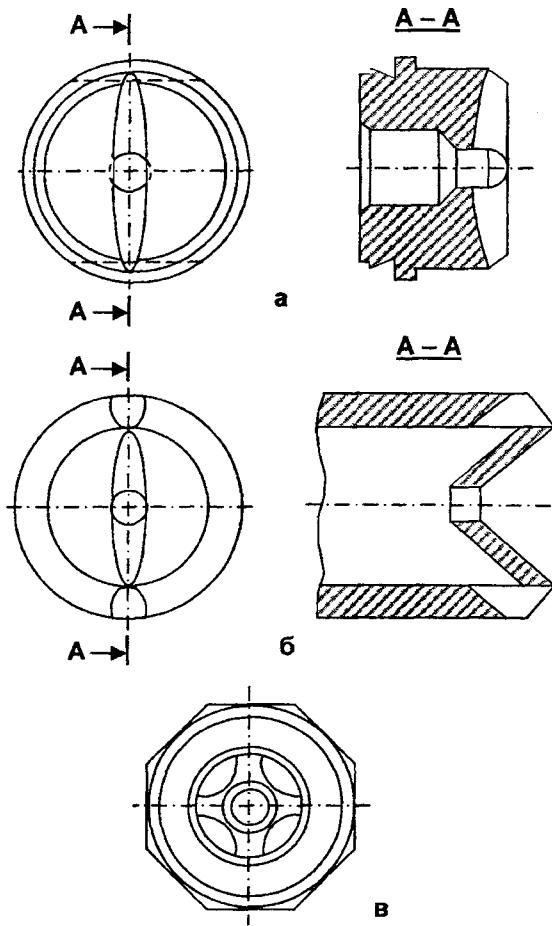


Рис. 3.29. Схемы форсунок для водяного охлаждения заготовки:

- а – плоскофакельная односопловая;**
- б – плоскофакельная многосопловая с радиальной ориентацией сопел;**
- в – круглофакельная с вращающимся червяком**

На рис. 3.29, б показана плоскофакельная многосопловая форсунка с радиальной ориентацией сопел.

Узкие грани слябовой заготовки водой охлаждаются только на расстоянии до 1,5...2,0 м ниже кристаллизатора. Это осуществляется при помощи круглофакельных форсунок. Такие же форсунки используются для охлаждения всех граней сортовой заготовки.

Схема круглофакельной форсунки с углом раскрытия 90° приведена на рис. 3.29, в. Для формирования круглого конического факела вода подаётся по специальной вставке с каналами в виде многозаходного червяка – спирали и распыляется через круглое отверстие.

Достоинствами гидравлических форсунок является их простота и невысокая стоимость.

Однако такие форсунки имеют ряд недостатков. Устойчивая работа их возможна только при достаточно высоких расходах воды – не менее 0,3...0,4 м³/ч. При меньшем расходе воды они часто выходят из строя из-за засорения. При распылении большого количества воды образуется жёсткий факел, вызывающий локальное переохлаждение заготовки. Такой факел имеет неравномерное распределение плотности орошения по его ширине. При параболическом распределении плотности орошения по ширине факела наибольшему охлаждению подвергается поверхность заготовки по оси факела.

При изменении давления воды характеристики факела гидравлических форсунок меняются и не регулируются. Поэтому в разных зонах ЗВО с отличающейся интенсивностью охлаждения заготовки приходится устанавливать отличающиеся по производительности, а значит и по конструкции форсунки. Это усложняет их обслуживание и ремонт. К каждой зоне подвод воды вынужден выполняться независимым.

Для подачи воды в зоны используется подводящий коллектор (см. рис. 3.28). Крепление форсунок к отводам коллектора производится при помощи паза типа "ласточкин хвост" и на-кодной гайки. Размеры орошающей поверхности зависят от угла раскрытия факела и от расстояния форсунки до поверхности заготовки. При изменении ширины отливаемой заготовки необходимо производить регулирование высоты расположения подводящих коллекторов.

Схема расположения форсунок в зоне вторичного охлаждения должна учитывать конструктивные особенности МНЛЗ,

размеры отливаемой заготовки, сортамент разливающей стали, гидравлические и технические характеристики форсунок.

Система водяного форсуночного охлаждения снабжается запорной и регулирующей аппаратурой. Запорные устройства имеют электромагнитный или пневматический привод. Они служат для включения или отключения подачи воды в ту или иную зону в соответствии с технологическим режимом разливки. Система автоматики управляет расходом воды по секциям ЗВО в зависимости от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора с коррекцией на сортамент разливающей стали и размеры поперечного сечения отливаемой заготовки.

Таким образом, водяное форсуночное охлаждение, несмотря на свою сравнительную простоту, не позволяет получать мягкого и регулируемого охлаждения отливаемой заготовки.

Поэтому на современных МНЛЗ во всех зонах системы вторичного охлаждения заготовки за исключением первых двух – трёх применяется водовоздушное охлаждение. Конструктивное исполнение такого охлаждения является более сложным. Однако основное его преимущество заключается в возможности регулирования интенсивности охлаждения заготовки в широких пределах. Это достигается изменением расходов как воды, так и воздуха. Существует много способов получения водовоздушной смеси.

В первой группе способов образование водовоздушной смеси производится в специальных смесителях-генераторах, после чего она транспортируется к заготовке. Достоинство таких способов – простота подачи готовой смеси на заготовку с помощью несложных по конструкции форсунок. Недостатками являются громоздкость всей системы и расслаивание смеси на компоненты при её транспортировке.

Вторая группа способов отличается внешним смешением компонентов в момент образования водовоздушного факела. Это осуществляется при раздельной подаче из коллектора воды и воздуха, при пересечении струй которых происходит дробление воды и образование водовоздушного факела. Такая система является компактной, но имеются трудности с регулированием интенсивности охлаждения. Это объясняется меняющимися дисперсностью водяных капель и направленностью факела при изменении расходов и давлений компонентов смеси. При изготовлении такого устройства требуется высокая точность, а при его эксплуатации – очистка воды.

В третьей группе способов применяются устройства с внутренним смешением компонентов перед форсункой. Такие устройства являются более сложными, однако обладают высокой надёжностью при эксплуатации и обеспечивают тонкое регулирование интенсивности охлаждения заготовки в очень широком диапазоне.

На рис. 3.30 и 3.31 показаны три варианта подвода воды и воздуха в смеситель перед форсункой для образования водовоздушного факела.

Распыление смеси производится через форсунку, установленную на водовоздушном коллекторе. Образование смеси производится в специальном узле – смесителе непосредственно перед форсункой. Подача воды и воздуха может производиться по вставленным один в другой коллекторам и по параллельно расположенным коллекторам. Форма факела зависит от вида используемого в форсунке сопла. Расходы воды и воздуха могут иметь отношение от 1:50 до 1:200 при давлении воды 0,2...0,4 МПа и воздуха 0,08...0,4 МПа. При дроблении воды образуется водяной туман, обеспечивающий мягкое охлаждение заготовки и опорных элементов ЗВО.

Система водовоздушного охлаждения также монтируется по секционно, что облегчает компоновку регулирующих устройств. Данная система постоянно совершенствуется для повышения надёжности и эффективности её работы.

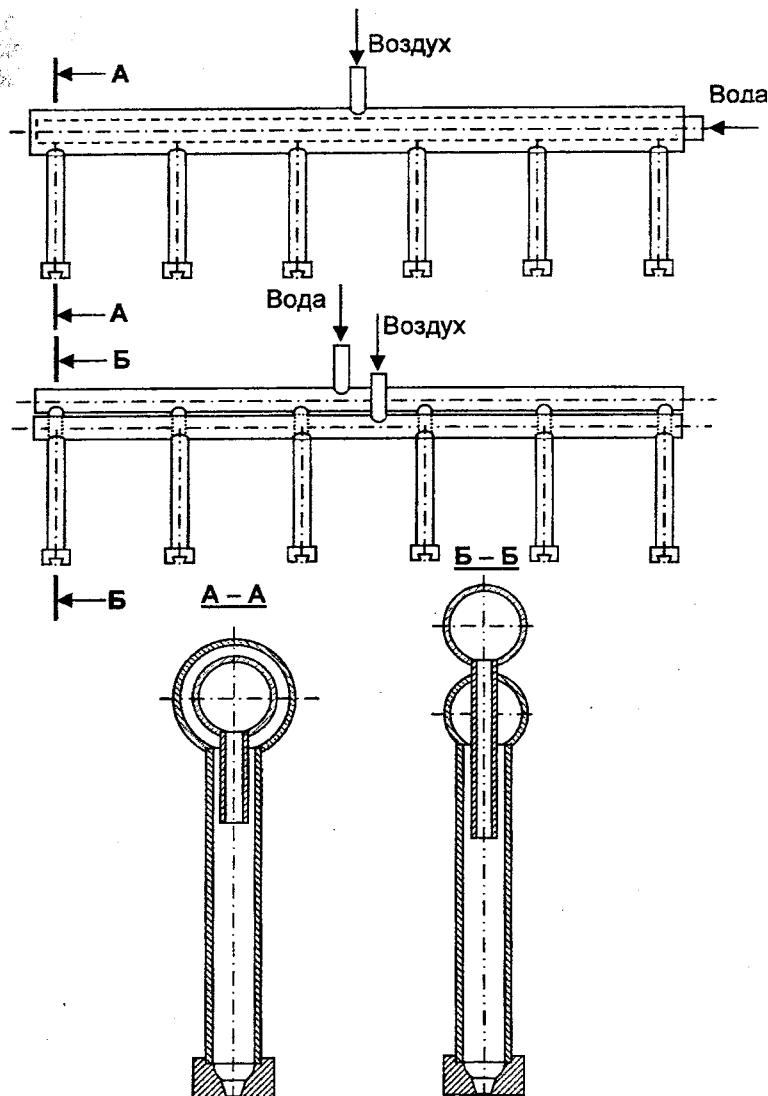
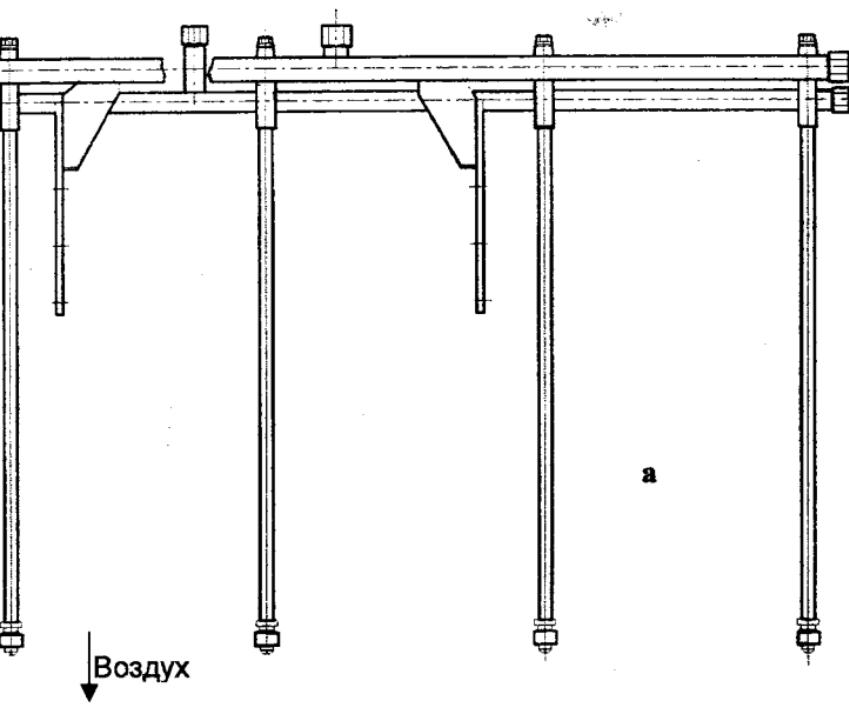
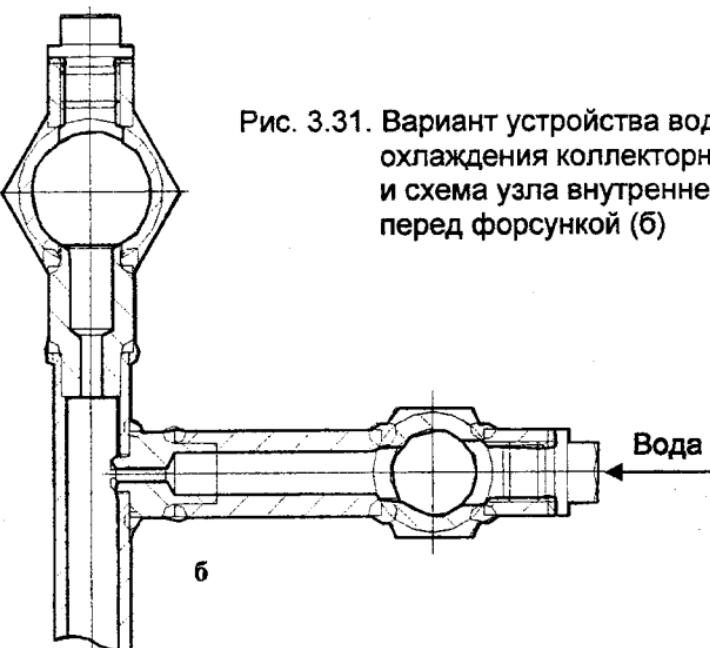


Рис. 3.30. Схема устройства с внутренним смешением компонентов перед форсункой для водовоздушного охлаждения заготовки



а



б

Рис. 3.31. Вариант устройства водовоздушного охлаждения коллекторного типа (а)
и схема узла внутреннего смешения
перед форсункой (б)

3.7. Тянуще-правильное устройство

На вертикальной МНЛЗ тянущее устройство выполняется в виде клети, как правило, с четырьмя валками-роликами большого диаметра. Все они обычно являются приводными. Прижатие их к заготовке производится при помощи гидроцилиндров. Для устранения пробуксовки осуществляется небольшое обжатие заготовки в тянущей клети.

На криволинейных слябовых МНЛЗ функции тянуще-правильного устройства выполняют, как уже отмечалось в разделе 3.6.1, роликовые секции криволинейного и горизонтального участков, имеющие приводные ролики. Различные варианты конструкции таких секций приведены на рис. 3.24...3.26.

В настоящее время на таких машинах дополнительно может устанавливаться тянувшая клеть. Она устанавливается после зоны вторичного охлаждения заготовки. Тянувшая клеть предназначена для вытягивания горячей заготовки из кристаллизатора в рабочем режиме с половинным усилием прижатия верхних роликов, для вытягивания захоложенной заготовки или в других нестандартных условиях с максимальным усилием прижатия. Одна клеть обычно обслуживает сразу два ручья слябовой МНЛЗ.

Тянувшая клеть состоит из нижней рамы, к которой крепятся на каждый ручей по два нижних стационарных ролика и два верхних (при помощи качающихся рычагов) ролика. Все ролики имеют бочку диаметром 330 мм и являются приводными. Прижим верхних роликов к заготовке производится при помощи гидроцилиндров. Ролики выполняются с внутренним водяным охлаждением и централизованно смазываемыми подшипниками узлами. При отжатых верхних роликах клеть может функционировать в качестве рольганга.

На сортовых МНЛЗ радиального типа тянуще-правильное устройство выполняется в виде многороликовой клети. Она служит для введения жёсткой затравки снизу в кристаллизатор при подготовке машины к разливке, отделения затравки от заготовки в начальный период разливки, вытягивания заготовки из кристаллизатора с заданной скоростью и расправления заготовки.

Один из вариантов тянуще-правильной клети сортовой МНЛЗ показан на рис. 3.32.

Клеть состоит из основной рамы с тремя нижними стационарными роликами, двух верхних подстраиваемых роликов, двух гидроцилиндров, двух двигателей привода роликов и защитного

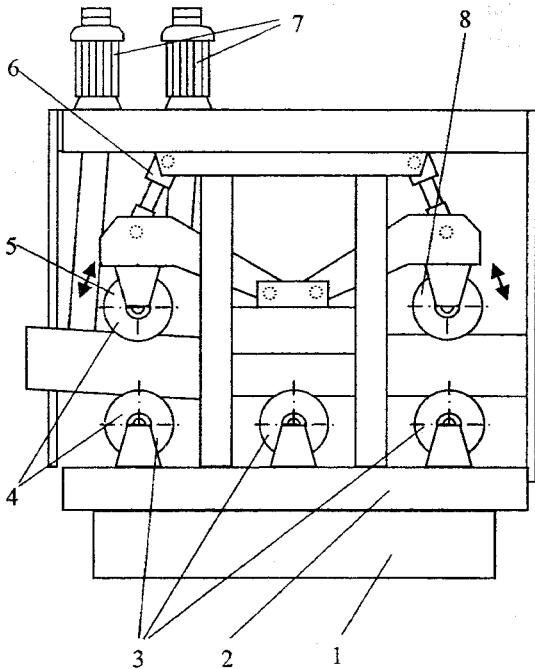


Рис. 3.32. Схема тянуще-правильной клети сортовой МНЛЗ:

- 1 – фундамент;
- 2 – рама клети;
- 3 - нижний стационарный ролик;
- 4 – приводные ролики;
- 5 – первый верхний ролик;
- 6 – гидроцилиндр;
- 7 – электродвигатели привода роликов;
- 8 – второй верхний ролик

кожуха. Все ролики имеют внутреннее охлаждение и диаметр 350 мм. Они опираются на самоустанавливающиеся роликоподшипники. Вытягивание заготовки производится при помощи первой пары приводных роликов: верхнего и нижнего. Мягкая правка заготовки осуществляется регулируемым прижатием к заготовке верхних роликов с использованием гидроцилиндров. После выхода головки затравки из клети она отделяется от заготовки посредством опускания второго верхнего ролика.

3.8. Затравка

Затравка – это специальное устройство, предназначенное для образования временного дна в кристаллизаторе при его заполнении жидким металлом и для последующего вытягивания заготовки из кристаллизатора на начальной стадии разливки. Затравка имеет достаточно большую длину для того, чтобы при нахождении верхней её части в кристаллизаторе нижняя часть была в контакте с тянувшими устройствами МНЛЗ. Она состоит из верхней сменной части – головки и из остальной её части – тела. В головке делаются специальные пазы, в которые жидкий металл затекает и быстро затвердевает, прочно сцепляя формирующуюся оболочку заготовки с затравкой. Вытягивание затравки вместе со сцеплённой с ней заготовкой осуществляется до выхода верхней части затравки из МНЛЗ. Здесь производится отделение её от заготовки с последующим выводом из машины.

Конструкция затравок зависит от типа машины непрерывного литья заготовок и может быть жёсткой или гибкой. На вертикальных МНЛЗ применяются жёсткие затравки. Это устройство (рис. 3.33, а) представляет собой прямой стальной брус постоянной формы. К нему крепится сменная головка, имеющая одинаковую с отливаемой заготовкой форму поперечного сечения. В головке затравки делается паз, выполненный в виде ласточкинского хвоста. Такая форма паза является очень простой и надёжной в эксплуатации. Однако отделять затравку с таким пазом от заготовки очень сложно. На радиальных сортовых МНЛЗ обычно применяются жёсткие затравки в виде дугообразного бруса или конструкции из массивных стальных листов с радиусом кривизны технологической оси машины. К сменной головке затравки крепится расходуемый холодильник (рис. 3.33, б). В процессе разливки он оказывается вмороженным в головную часть отливаемой заготовки и каждый раз должен устанавливаться вновь при подготовке затравки к заведению в кристаллизатор. Холодильник представляет собой стальной полый цилиндр с боковыми прорезями. Он надевается на болт, вставляемый снизу в специальный паз головки затравки, и прижимается к стальной пластине при помощи накладки и гайки. Пластина сверху закрывает прорезь паза в торце головки. Быстрому затвердеванию жидкого металла способствует помещение внутрь цилиндра обрезков арматуры. Для более прочного сцепления оболочки заготовки с затравкой сверху на цилиндр дополн-

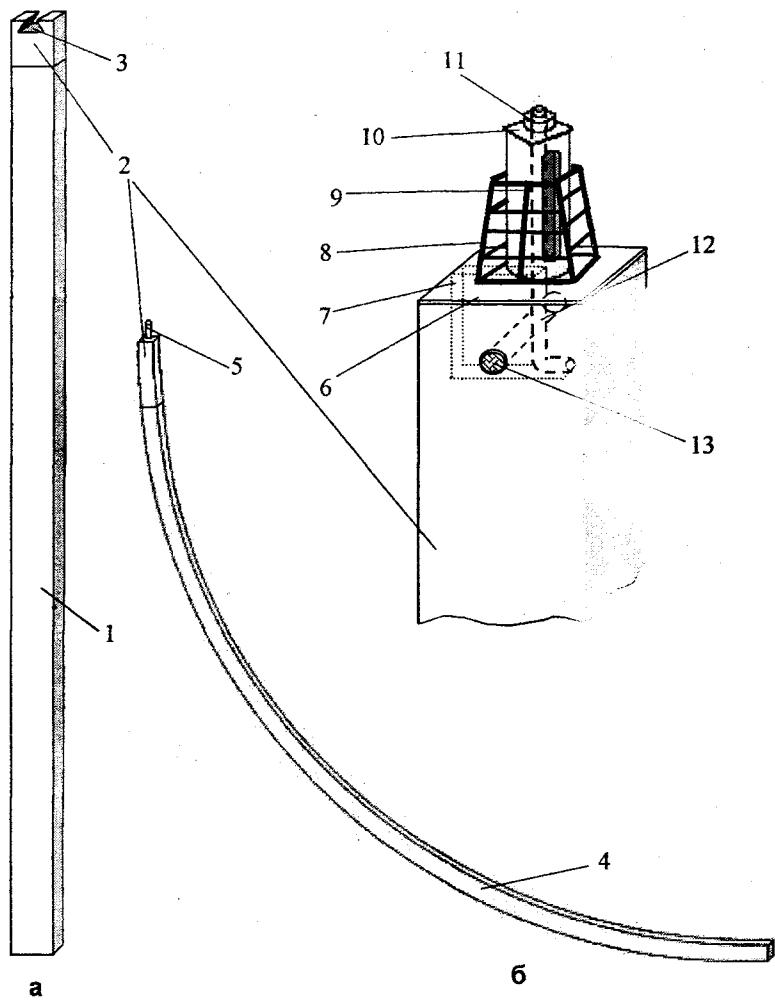


Рис. 3.33. Схемы жёстких затравок для разных типов МНЛЗ:
 а – вертикальной; б – радиальной; 1 – прямой стальной брус;
 2 – головка; 3 – паз в виде ласточкиного хвоста; 4 – изогнутый
 брус; 5 – расходуемый холодильник; 6 – пластина; 7 – паз;
 8 – призма из арматуры; 9 – полый цилиндр с боковыми
 прорезями; 10 – накладка; 11 – гайка; 12 – болт; 13 – штифт

нительно крепится сварная конструкция из арматуры в форме призмы. Вставляемый в головку болт имеет Г – образную форму. Загнутый конец болта устанавливается в выемку паза в верхней части затравки и удерживается от выпадания из головки при помощи деревянного штифта. Жёсткие затравки могут вводиться в кристаллизатор только снизу при помощи реверсивного привода тянувших устройств, предназначенных для вытягивания заготовки.

На слябовых МНЛЗ радиального и криволинейного типа применяются гибкие затравки. Такое устройство состоит из головки и гибкого корпуса, представляющего собой цепь различной конструкции. Головка гибкой затравки обычно имеет форму, показанную на рис. 3.34.

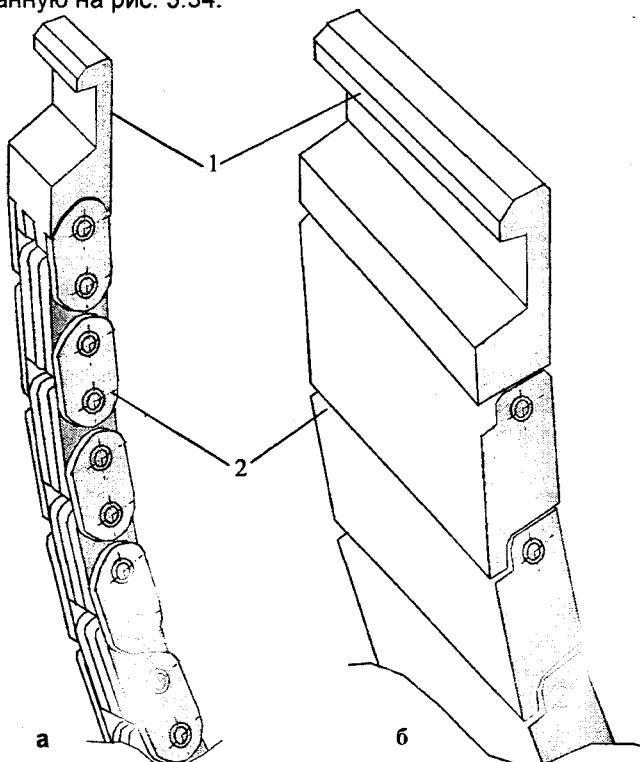


Рис. 3.34. Схемы гибких затравок с нераздвижными (а) и раздвижными (б) звенями: 1 – головка; 2 – тело

Конструкция звеньев тела затравки может быть нераздвижной и раздвижной. Затравки с нераздвижными звеньями (рис. 3.34, а) применяются на МНЛЗ, оборудованных гидравлическим механизмом прижатия роликов в зоне вторичного охлаждения заготовки. Введение этих затравок в кристаллизатор может производиться как сверху, так и снизу.

Затравки с раздвижными звеньями (рис. 3.34, б) используются на машинах, в которых прижатие роликов осуществляется пружинным механизмом или клиновым способом. Внутри затравки по всей её длине расположены два-четыре резинотканевых рукава (рис. 3.35).

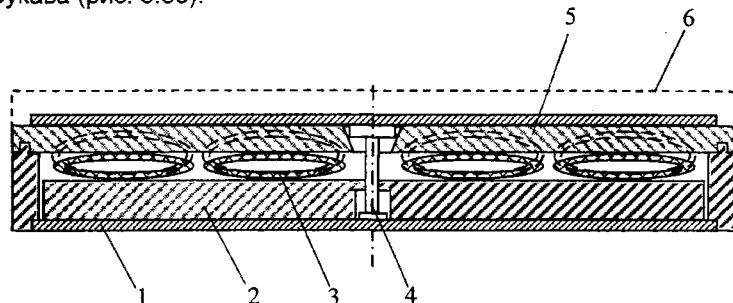


Рис. 3.35. Схема надувной затравки в поперечном разрезе:

- 1 – накладка;
- 2 – неподвижная пластина;
- 3 – резинотканевый рукав;
- 4 – ограничительный болт;
- 5 – подвижная пластина;
- 6 – верхний уровень надутой затравки

Они находятся между неподвижными и подвижными пластинами звеньев. Передвижение подвижных пластин ограничивается болтами. После ввода затравки в машину до тянувших устройств производится надувка затравки. Подвод сжатого воздуха осуществляется с помощью полого штыря через запорный клапан первого звена тела затравки. При этом подвижные пластины перемещаются, прижимая тело затравки к бочкам роликов. Обычно полный ход крышек затравки не превышает 50...65 мм. Такие затравки вводятся в кристаллизатор сверху. После вывода затравки из машины воздух из рукавов выпускается через клапан. Длина надувной затравки составляет 6...7 м. Для улучше-

ния сцепления приводных роликов с затравкой её звенья облицовываются титановыми накладками.

Гибкие затравки с нераздвижными звеньями отличаются простотой конструкции и надёжностью в работе. Однако такие затравки не могут использоваться на машинах с пружинным механизмом прижатия роликов или клиновым способом из-за сложности в регулировках. Поэтому на таких МНЛЗ применяются надувные затравки. Недостатками затравок с раздвижными звеньями являются сложность конструкции и их обслуживания, относительно невысокая стойкость резинотканевых рукавов с потерей их герметичности, непостоянство контакта звеньев с роликами.

3.10. Устройства для отделения и транспортировки затравки

Для отделения головки затравки от заготовки применяются специальные устройства. Они устанавливаются на горизонтальном участке отводящего рольганга между последней роликовой секцией или тянувшей клетью и устройством для разделения заготовки на мерные длины. Исполнительным элементом устройства для отделения головки затравки от заготовки являются упоры, рычаги, выдавливающие ролики и другие приспособления. Они имеют электрический или гидравлический привод и управляются в автоматическом режиме. Работа устройства начинается при поступлении сигнала от фотореле, фиксирующего момент прохождения хвостовиком тела затравки определённой точки рольганга.

На рис. 3.36 приведена схема широко используемого устройства для отделения головки затравки от слябовой заготовки. После выхода головки затравки из последней пары роликов горизонтального участка МНЛЗ снизу на неё воздействует упор, передвигаемый гидроцилиндром. Головка приподнимается и отделяется от заготовки. При этом головка входит в зацепление с опущенным захватом устройства для заведения затравки, расположенным на разливочной площадке. Затравка поднимается вверх до следующего цикла разливки.

В случае приваривания заготовки к головке затравки отделяется только её корпус, а головка вместе со слябом передается на стеллажи накопителя. Отделение корпуса затравки от её головки производят с помощью механизма аварийного отделения.

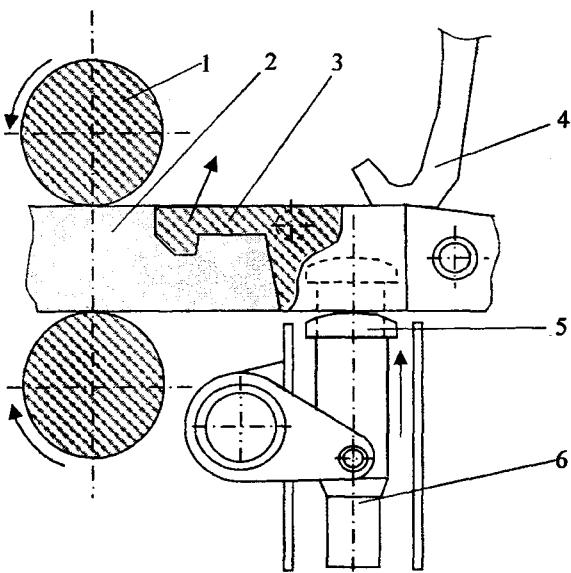


Рис. 3.36. Схема устройства для отделения головки затравки от сляба: 1 – ролик; 2 – сляб; 3 – головка затравки; 4 – крюк захвата; 5 – упор; 6 - гидроцилиндр

Корпус затравки захватывается лебёдкой за хвостовую часть, поднимается вверх и передаётся на разливочную площадку.

Схема отделения головки жёсткой затравки с расходуемым холодильником от сортовой заготовки на радиальной МНЛЗ показана на рис. 3.37.

Разделение затравки и горячей непрерывнолитой заготовки производится в автоматическом режиме после её выхода из тянуще-правильной клети. При этом головка затравки опирается на нижний опорный ролик, который приподнят над рольгангом. На передний конец заготовки сверху давит верхний опорный ролик, опускаемый в позицию отделения затравки. Вследствие этого в пазу головки болт нажимает сверху на деревянный штифт и ломает его. Загнутый конец болта вываливается из паза и выходит из зацепления с головкой затравки. Происходит разделение

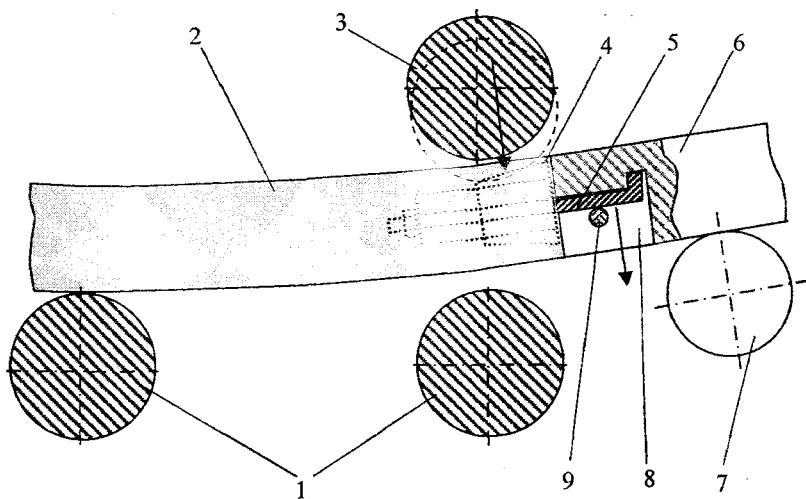


Рис. 3.37. Схема отделения головки жёсткой затравки с расходуемым холодильником от заготовки:
 1 – нижние ролики тянуще-правильной клети;
 2 – заготовка; 3 – верхний опорный ролик;
 4 – расходуемый холодильник; 5 – болт с
 загнутым концом; 6 – головка затравки;
 7 – нижний опорный ролик; 8 – паз в головке;
 9 – деревянный штифт

затравки и отлитой заготовки. При этом нижний опорный ролик автоматически опускается на отметку ниже рольганга и отсоединеная заготовка беспрепятственно передвигается по горизонтальному рольгангу к машине газовой резки.

Для транспортировки и хранения жёсткой затравки на радиальной МНЛЗ используется специальное оборудование (рис. 3.38).

В самом начале процесса вытягивания из тянуще-правильной клети затравки её хвостовой конец направляется в специальный приёмник при помощи нижнего опорного ролика, находящегося в приподнятом над рольгангом положении.

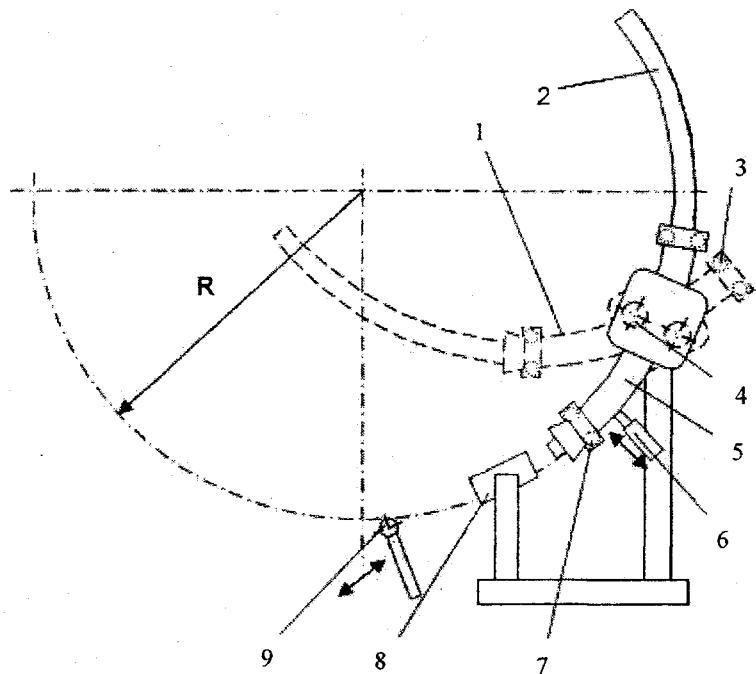


Рис. 3.38. Схема приёмного устройства жёсткой затравки на радиальной МНЛЗ:

- 1 – положение приёмника при хранении затравки;
- 2 – затравка; 3 – задний направляющий ролик;
- 4 – приводной протягивающий ролик; 5 – корпус
- приёмника; 6 – гидроцилиндр; 7 – передний
- направляющий ролик; 8 – направляющие;
- 9 – нижний опорный ролик;
- R – базовый радиус МНЛЗ

Приёмник служит для удержания и протягивания затравки, её поворота в позицию размещения для подготовки к началу новой разливки и обратного поворота в позицию для ввода в кристаллизатор. Поворот приёмника осуществляется при помощи гидравлического цилиндра. Приёмник оснащён тянувшим устрой-

ством колебательного типа с роликами и приводом. Это устройство служит для протягивания заготовки внутри приёмника в обоих направлениях на требуемую длину. В передней и задней частях приёмника имеются направляющие ролики без привода.

Такая схема транспортировки жёсткой затравки выгодно отличается от традиционно используемой схемы хранения затравки в стационарных роликовых проводках под рабочей площадкой. Основным её достоинством является удобство обслуживания затравки.

Операции ввода, вывода, хранения и транспортировки гибких затравок осуществляются специальными передвижными или стационарными машинами. Они обычно располагаются на уровне рабочей площадки. Основные типы машин представлены на рис. 3.39.

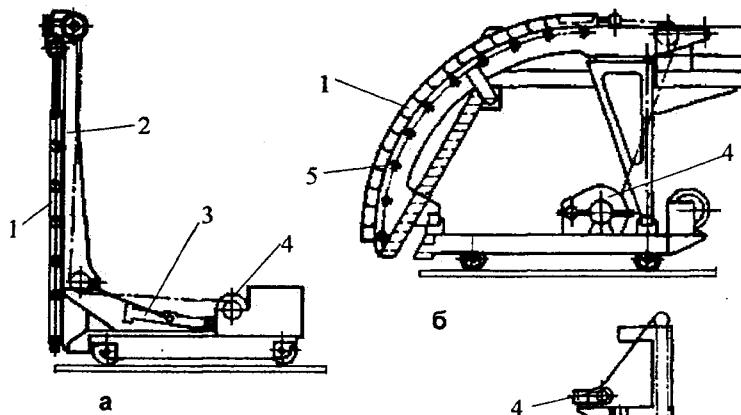
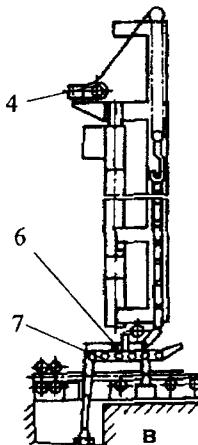


Рис. 3.39. Схемы передвижной (а, б) и стационарной машин для ввода затравки:

- 1 – затравка; 2 – стрела;
- 3 – гидроцилиндр;
- 4 – лебёдка; 5 – рольганг с приводом; 6 – качающийся стол; 7 – неприводной рольганг



На всех типах машин для ввода и вывода затравок используются лебёдки. Передвижные машины, как правило, перемещаются по рабочей площадке по двум рельсам. При подъёме затравки с раздвижными звеньями эти машины располагаются на рабочей площадке перед люком над местом отделения головки затравки от заготовки. Поднятая головкой вверх затравка размещается в зависимости от конструкции машины в вертикальном положении на стреле (рис. 3.39, а) или наклонном положении на приводном рольганге (рис. 3.39, б). Машина со стрелой оборудована гидроцилиндром для перемещения затравки в горизонтальное положение при её хранении. Для ввода затравки сверху в кристаллизатор машины передвигаются в позицию перед кристаллизаторами. Ввод затравки производится хвостовой частью вперёд до достижения приводных роликов МНЛЗ. После этого затравка надувается и затягивается до требуемого уровня приводом МНЛЗ. Машина без рольганга является более компактной и лёгкой. На ней имеется возможность точного регулирования положения затравки относительно оси кристаллизатора при вводе затравки. Это достигается путём перемещения стрелы в продольном и поперечном направлениях.

Стационарная машина (рис. 3.39, в) применяется для ввода затравки с нераздвижными звеньями в кристаллизатор снизу. Она оборудована качающимся столом с неприводным рольгантом. Стол наклоняется при помощи двух гидроцилиндров. При приёме и опускании затравки стол занимает наклонное положение. Достоинством такой машины является её исключительная компактность, что позволяет сократить длину участка МНЛЗ от последней роликовой секции до газовой резки, соответственно уменьшить размеры рабочей площадки и нагрузку на неё. Всё это снижает затраты на строительство. Отсутствие громоздкого оборудования, перемещающегося по рабочей площадке, улучшает условия труда и обслуживания МНЛЗ.

3.10. Устройства для разделения заготовки на мерные части

Для разделения отлитой непрерывнолитой заготовки в потоке на заданные мерные части служат специальные устройства. Они устанавливаются в конце технологической линии МНЛЗ. К таким устройствам относятся машины газовой резки и два типа

ножниц – качающиеся гидравлические и передвижные ударного (импульсного) действия.

Разделение заготовок преимущественно производится машинами газовой резки. Машина газовой резки располагается в каждом ручье МНЛЗ. Количество резаков зависит от размеров разделяемой заготовки. Как правило, слябовая заготовка режется двумя резаками, а сортовая – одним. Схема конструкции такой машины приведена на рис. 3.40.

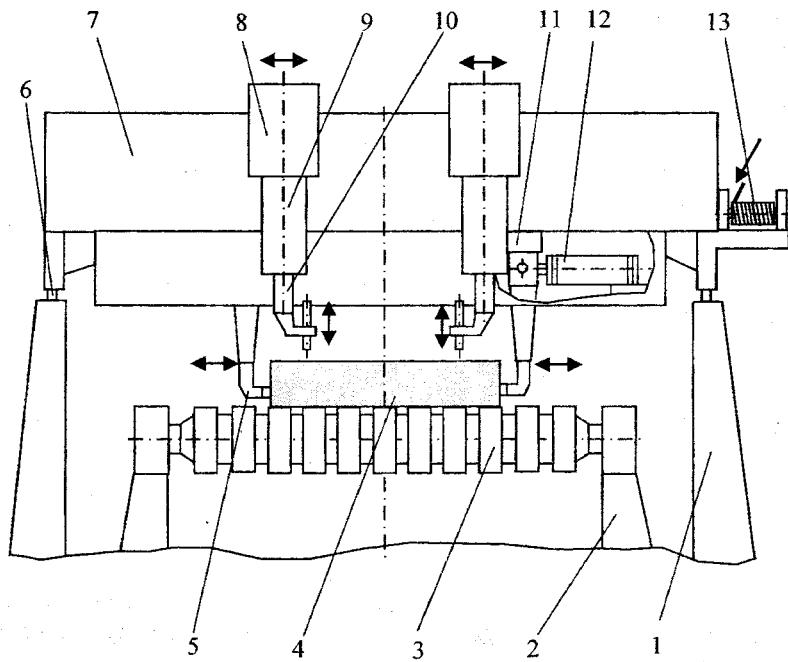


Рис. 3.40. Схема конструкции машины газовой резки
слябовой непрерывнолитой заготовки:

- 1 – эстакада;
- 2 – фундамент;
- 3 – ролик рольганга;
- 4 – слябовая заготовка;
- 5 – захват;
- 6 – ходовое колесо;
- 7 – рама машины;
- 8 – суппорт;
- 9 - механизм вертикального перемещения резака;
- 10 - держатель;
- 11 – каретка;
- 12 – пневмоцилиндр;
- 13 – канатный механизм перемещения рамы

Машина состоит из рамы, установленной на четырёх ходовых неприводных колёсах. Она перемещается по рельсам вдоль технологической оси МНЛЗ на специальной эстакаде. На раме смонтирован механизм для её сцепления с заготовкой и обеспечения синхронного движения. Он включает в себя каретки с захватами, перемещаемые с помощью пневмопривода в направлении, перпендикулярном оси заготовки. Во время рабочего хода машина передвигается вместе с заготовкой. В это время заготовка разделяется резаками, расположенными на суппортах, которые могут перемещаться в горизонтальном направлении при помощи электропривода. Для подъёма и опускания резаков используется специальное устройство. Два резака начинают разделение заготовки от её краёв к оси. При подходе к осевой части один резак отводится назад, а второй – дорезает оставшуюся перемычку. После окончания реза рама открепляется от заготовки и при помощи каната с лебёдкой быстро возвращается в исходное положение. В качестве технологических газов для резки заготовки применяются ацетилен или пропанбутановая смесь, имеющие высокую теплоту сгорания, и кислород. Скорость газовой резки определяется толщиной разделяемой заготовки и имеет сравнительно невысокую величину, не превышающую 500...800 мм/мин.

Основными преимуществами машины газовой резки являются сравнительная простота конструкции и надёжность в работе. Она имеет по сравнению с ножницами значительно меньшую массу оборудования, что снижает капитальные затраты на строительство. Главным недостатком являются дополнительные потери металла при резке, составляющие 1...2 % от массы разливающейся стали. Кроме того, расходуется большое количество технологических газов, необходима организация уборки шлама, окружающая атмосфера загрязняется выделяющимися при порезке газами, для размещения оборудования требуется значительная площадь.

Гидравлические ножницы должны обладать большим усилием резания для обеспечения разделения заготовки на мелкие части во время её движения. Схема конструкции гидравлических ножниц показана на рис. 3.41.

Ножницы имеют качающуюся станину с шарнирно закреплённым основанием. Это позволяет станине перемещаться посредством качания вместе с расположенным на ней режущим оборудованием со скоростью движения заготовки в процессе её резки. Качание станины осуществляется при помощи гидропри-

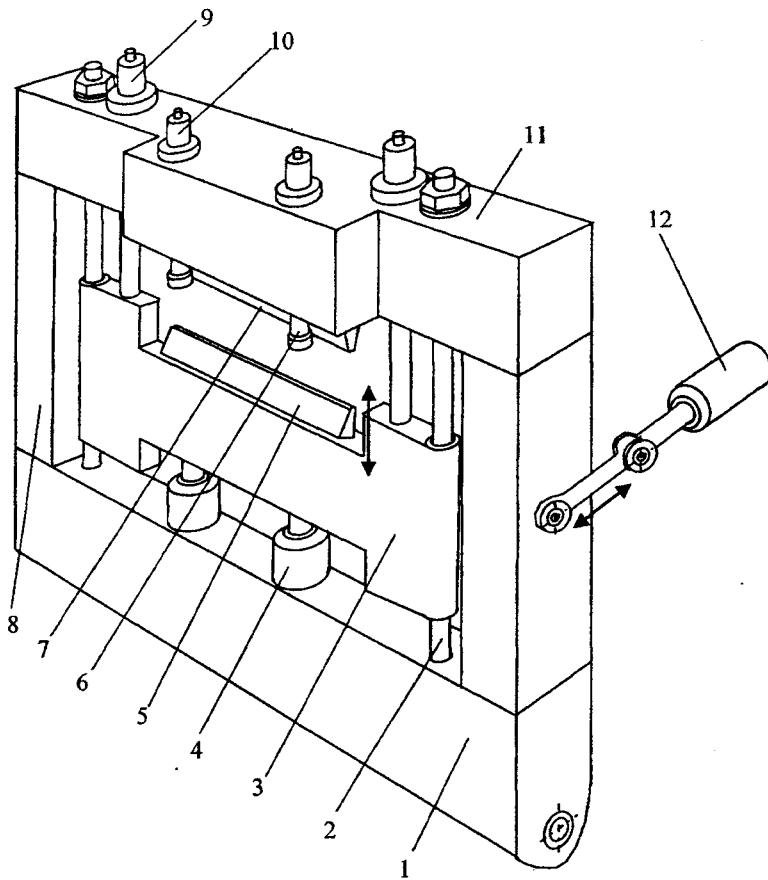


Рис. 3.41. Схема конструкции гидравлических ножниц:

- 1 – нижняя траверса;
- 2 – направляющая;
- 3 – суппорт;
- 4 – рабочий гидроцилиндр;
- 5 – нижний нож;
- 6 – шток механизма прижима;
- 7 – верхний нож;
- 8 – вертикальная стойка станины;
- 9 – гидроцилиндр обратного хода суппорта;
- 10 – гидроцилиндр прижима штока;
- 11 – верхняя траверса;
- 12 – гидроцилиндр механизма качания станины

вода. Станина ножниц состоит из верхней и нижней траверс и двух вертикальных стоек. На нижней траверсе установлены два рабочих гидроцилиндра, которые поднимают суппорт по направляющим вместе с нижним ножом. Двумя другими гидроцилиндрами обратного хода, расположенными на верхней траверсе, суппорт опускается в исходное положение. На этой траверсе также находятся гидроцилиндры прижима штоков к заготовке. Для пожарной безопасности в гидроцилиндрах в качестве рабочей жидкости применяется эмульсия.

Перед началом реза ножницы находятся в исходном – наклонном навстречу двигающейся заготовке на угол около 2° , положении. При включении ножниц их станина под действием гидроцилиндра механизма качания совершает качательное движение в сторону перемещения заготовки. В этот момент под действием хода рабочих цилиндров суппорт вместе с нижним ножом двигаются вверх до сляба, приподнимая и прижимая его к верхнему ножу и к штокам гидроцилиндров прижима. При этом продолжается качательное движение станины на угол около 6° . Так производится процесс реза заготовки. Отрезанная часть сляба удерживается гидроцилиндрами прижима на суппорте. После завершения реза цилиндры обратного хода опускают суппорт, а станина ножниц возвращается в исходное положение вследствие воздействия гидроцилиндра качания в обратном направлении. Разделение заготовки производится очень быстро вследствие высокой скорости резки – около 80 мм/с. В отечественной практике гидравлические ножницы используются на слябовых МНЛЗ для резки заготовки с размерами поперечного сечения: толщиной – от 170 до 250 мм и шириной – от 1500 до 1800 мм. Суммарное усилие рабочих цилиндров равняется 25...37 МН. Масса ножниц составляет от 210 до 305 т.

Основное преимущество гидравлических ножниц заключается в безотходной резке заготовки. Кроме того, разделение заготовки производится с высокой скоростью, не загрязняется окружающая атмосфера, оборудование компактно размещается на небольшой площади. К недостаткам гидравлических ножниц относятся большие масса, стоимость и сложность оборудования, сравнительно невысокая его надёжность в работе, большие эксплуатационные расходы. Поэтому применение гидравлических ножниц целесообразно на МНЛЗ с разливкой дорогостоящих сталей и сплавов, особенно в том случае, если они плохо поддаются газовой резке.

Принцип работы передвижных ножниц ударного (импульсного) действия основан на использовании энергии взрыва. В результате такой энергии приводятся в движение два ножа, перемещающиеся навстречу друг другу. В качестве взрывного вещества применяется смесь природного газа с воздухом. Ножницы импульсной резки применяются на многоручьевых сортовых МНЛЗ для порезки сразу нескольких заготовок небольшого сечения. Схема ножниц приведена на рис. 3.42.

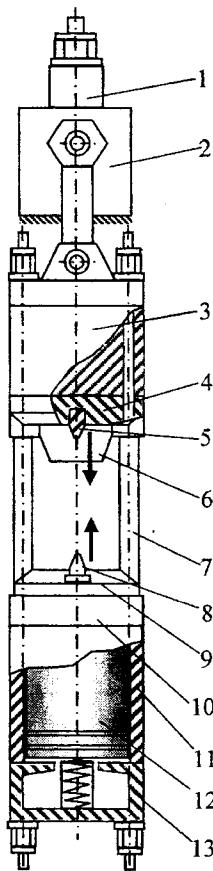


Рис. 3.42. Схема устройства ножниц для импульсной резки заготовок:

- 1 – упругий компенсатор;
- 2 – стационарная рама станины;
- 3 – траверса;
- 4 – верхняя ножевая плита;
- 5 – верхний нож;
- 6 – ограничительный упор;
- 7 – колонна-направляющая для перемещения суппорта;
- 8 – нижний нож;
- 9 – нижняя ножевая плита;
- 10 – суппорт;
- 11 – цилиндр;
- 12 – массивный поршень;
- 13 – камера сгорания

Ножницы состоят из станины и расположенного на ней режущего механизма. Он включает в себя траверсу с ножевой плитой, суппорт, камеру сгорания, четыре колонны и упругую подвеску. Траверса и ножевая плита соединены с камерой сгорания колоннами, которые являются одновременно направляющими для суппорта. Верхний нож закреплён в ножевой плите, а нижний – в суппорте. Для предотвращения поломки ножей при осуществлении разделения заготовки на верхней ножевой плите имеется сменный ограничительный упор, рассчитанный на высоту ножей. Режущий механизм шарнирно соединён с упругой подвеской, установленной в опорах верхней рамы. Этим достигается возможность перемещения режущего механизма по ходу движения заготовки. В цилиндре над камерой сгорания расположен поршень, жёстко связанный с суппортом.

В камеру сгорания подаётся порция природного газа и воздуха. При быстром сгорании смеси – её взрыве, образуются продукты сгорания – газы, которые с большой силой толкают поршень вместе с суппортом и нижним ножом вверх по направляющим колоннам. Одновременно газы воздействуют на дно камеры сгорания, в результате чего эта камера и соединённые с ней траверса с ножевой плитой и верхним ножом начинают движение вниз благодаря упругой подвеске. В результате встречного движения ножей производится порезка заготовки. Продолжительность реза составляет сотые доли секунды. При подъёме поршня в крайнее верхнее положение продукты сгорания выбрасываются из камеры сгорания и вся система возвращается в исходное положение.

Достоинствами ножниц импульсного действия являются безотходная резка металла, очень высокая скорость резки сразу нескольких сортовых заготовок, компактность установки, небольшая масса оборудования, сравнительно невысокие эксплуатационные расходы. К недостаткам этих ножниц относятся высокий уровень шума, вибрация и загазованность.

3.11. Устройства для электромагнитного перемешивания стали на МНЛЗ

В настоящее время для повышения качества непрерывнолитой заготовки широко используется электромагнитное перемешивание (ЭМП) металла в процессе его непрерывной разливки. Оно способствует решению двух основных задач:

- улучшение качества поверхности заготовки вследствие снижения количества поверхностных дефектов и загрязнённости металла неметаллическими включениями, повышения равномерности толщины поверхностного слоя плотного металла на выходе из кристаллизатора;
- изменение внутреннего строения заготовки, выражющееся в сужении зоны столбчатых кристаллов за счёт расширения зоны крупных равноосных неориентированных (полиздрических) кристаллов; уменьшении химической неоднородности металла; снижении центральной пористости заготовки.

При решении первой задачи необходимо воздействовать на поверхностный слой затвердевающего металла. Поэтому устройства для ЭМП устанавливаются в верхней части кристаллизатора МНЛЗ вблизи от мениска металла.

Решение второй задачи возможно путём снижения перегрева металла над температурой ликвидус, обламывания верхушек столбчатых кристаллов и создания циркуляции металла в центральной части заготовки. Для этого устройства ЭМП металла могут размещаться в средней и нижней частях кристаллизатора, а также в разных местах зоны вторичного охлаждения машины.

Существуют два основных способа ЭМП металла:

- индуктивный;
- кондуктивный.

Сущность индуктивного способа заключается в том, что с помощью индукционных катушек генерируется бегущее (переменное) магнитное поле, которое наводит в жидкой лунке непрерывнолитой заготовки вихревые токи Фуко. Взаимодействие вихревых токов с магнитным полем вызывает появление результирующих электродвижущих сил, направленных по ходу движения поля и вызывающих перемешивание жидкого металла в том же направлении. Коэффициент полезного действия индуктивных устройств для ЭМП очень низок из-за того, что жидкая сталь является немагнитным материалом и обладает низкой электропроводностью, а индукционные катушки трудно расположить на близком

расстоянии от металла из-за наличия кристаллизатора и опорных элементов под ним. Поэтому в таких устройствах необходимо применение индукторов высокой мощности.

По кондуктивному способу на заготовку воздействует постоянное магнитное поле от стационарных магнитов или электромагнитов. Одновременно с этим через формирующуюся заготовку пропускается постоянный электрический ток. При взаимодействии постоянного магнитного поля с постоянным током возникает результирующая сила, направленная перпендикулярно к направлению движения тока и магнитным силовым линиям. Кондуктивное перемешивание ещё называется методом статического магнитного поля типа ТЕ (поперечное электрическое поле). Коэффициент полезного действия устройств такого типа существенно выше, чем у устройств индуктивного типа. Они имеют небольшие габариты, что позволяет размещать их на уже действующих секциях роликовых проводок. Однако наиболее трудно разрешимой задачей является подвод электрического тока требуемой мощности к заготовке.

В настоящее время наиболее распространёнными являются устройства ЭМП индуктивного типа.

Первые опыты по ЭМП при непрерывной разливке стали были проведены в середине XX века.

К началу 70-х годов относится интенсивная разработка устройств ЭМП для кристаллизаторов сортовых и блюмовых МНЛЗ на металлургических предприятиях Франции, Великобритании, США и других стран. В Японии созданы устройства ЭМП для зоны вторичного охлаждения аналогичных машин.

Широкое распространение получили устройства ЭМП "ИРСИД" и "Магнетогир" (Франция); "Космостир", "Ниппон Стил", "Ниппон Кокан", "Сумитомо" (Япония); АСЕА (Швеция), Конкаст (Швейцария) и др.

На рис. 3.43 представлены схемы устройств ЭМП индуктивного типа для кристаллизаторов сортовых и блюмовых МНЛЗ. Они позволяют создать как круговое (вращательное) перемешивание металла (позиция "а" рис. 3.43), так и линейное перемешивание (позиции "б" и "в").

Различные варианты конструктивных решений устройств ЭМП на сортовых машинах для непрерывной разливки стали различными способами: открытой или закрытой струёй показаны на рис. 3.44.

При разливке стали открытой струёй мениск металла в

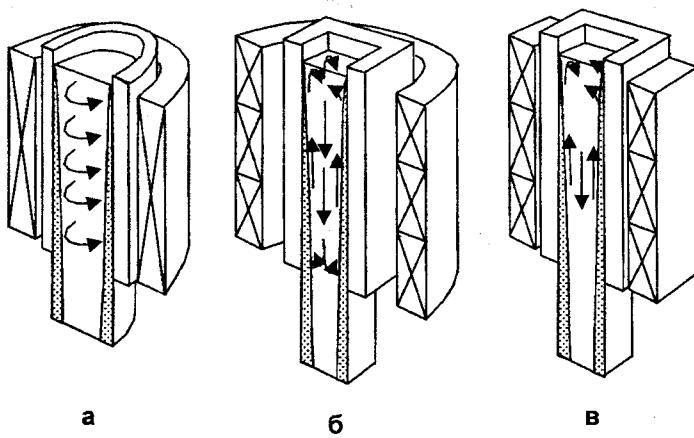


Рис. 3.43. Схема устройств ЭМП индуктивного типа для кристаллизаторов сортовых и бломовых МНЛЗ:
 а – с вращающимся полем;
 б – с линейным полем, получаемым при помощи цилиндрических катушек;
 в – с линейным полем, получаемым при помощи пластинчатых катушек

кри сталлизаторе является свободным. В этом случае используется длинное устройство ЭМП, которое позволяет интенсивно перемешивать металл по всей высоте кристаллизатора без опасения получения нестабильного мениска. Однако такое устройство неприемлемо при разливке закрытой струй. По такой технологии металл заливается в кристаллизатор через удлинённый погружной стакан под мениск, защищённый от воздействия атмосферы слоем покровного шлака. Перемешивание верхних слоёв металла под мениском недопустимо из-за опасности затягивания циркуляционными потоками шлаковых частиц вглубь жидкой лунки заготовки, что ухудшает её качество и может привести к образованию дефектов. Наиболее предпочтительным является использование сдвоенного устройства ЭМП (позиция "в" рис. 3.44) из-за его универсальности. При разливке открытой струй включаются оба контура устройства, а закрытой струй – только нижний кон-

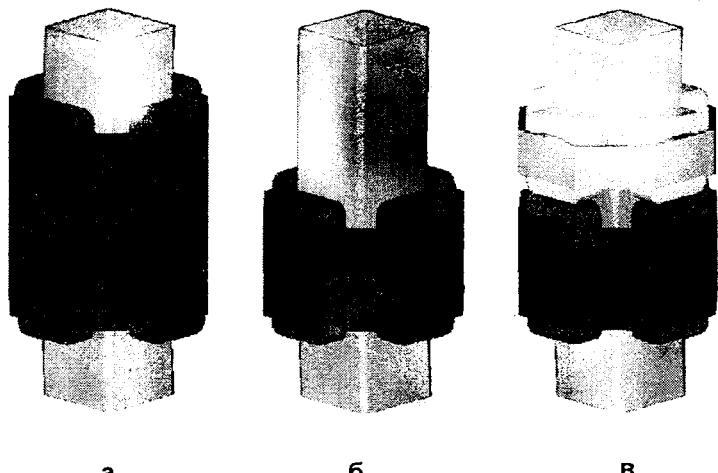


Рис. 3.44. Схемы устройств ЭМП в кристаллизаторе сортовой МНЛЗ:

- а – длинное – для разливки открытой струёй;
- б – короткое – для разливки закрытой струёй;
- в – сдвоенное – для любого способа разливки

тур. Недостатком двухконтурного устройства является его высокая стоимость. Для снижения затрат при сохранении гибкости в использовании было разработано устройство с перемещаемой по высоте кристаллизатора единственной катушкой, фиксируемой в нужном положении. Схема такого устройства показана на рис. 3.45.

Для осуществления перемешивания металла в кристаллизаторе устройство ЭМП может располагаться внутри кристаллизатора – быть встроенным или иметь наружное расположение. Оба таких варианта рассмотрены на рис. 3.46.

При внутреннем расположении устройства конструкция кристаллизатора очень усложняется, затрудняется его обслуживание и проведение ремонтных работ. Внешнее расположение устройства позволяет использовать стандартные кристаллизаторы, улучшаются условия для ремонта и обслуживания. Однако при этом мощность устройства должна быть увеличена из-за большего удаления устройства от металла, что вызывает повы-

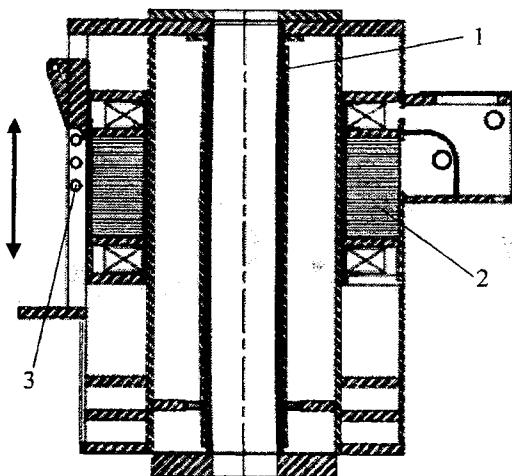


Рис. 3.45. Схема перемещаемого однокатушечного устройства ЭМП:
1 – гильза кристаллизатора;
2 – катушка устройства ЭМП;
3 – отверстия для фиксации катушки

ление перемешивания верхних слоёв металла в кристаллизаторе. Тормозящее воздействие на перемешивание верхних слоёв металла в кристаллизаторе способствует стабилизации мениска металла, предотвращает затягивание шлака в жидкую лунку заготовки, снижает эрозию погружного стакана, препятствует размыванию затвердевшей оболочки заготовки. Аналогичное воздействие возможно и при расположении в верхнем ряду устройства вместо верхней катушки постоянных магнитов. Такие конструкции устройств (рис. 3.47) получили название устройств электромагнитного торможения (ЭМТ).

Различные варианты устройств ЭМП индуктивного типа в зоне вторичного охлаждения сортовых и блюмовых МНЛЗ приведены на рис. 3.48. При их помощи в жидкой лунке заготовки создаётся три вида перемешивания металла: кроме вышеназванных вращательного и линейного, дополнительно – геликоидальное

шение его стоимости.
В настоящее время существует тенденция к применению в кристаллизаторе сортовых МНЛЗ двухкатушечных устройств, в которых нижняя катушка является основной и более мощной по сравнению с верхней. Это открывает широкие возможности по регулированию скорости перемешивания жидкого металла. При совпадающем направлении воздействия обеих катушек в поддерживающем режиме происходит усиление перемешивающего воздействия, а при противоположном направлении в режиме торможения – ослаб-

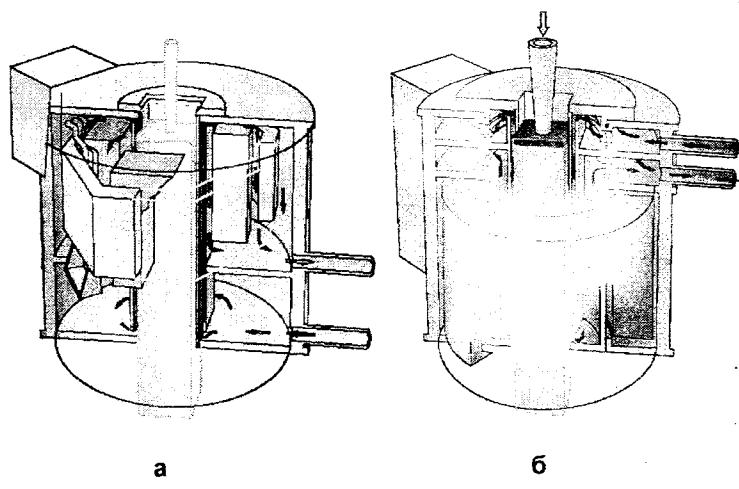


Рис. 3.46. Схемы однокатушечного устройства ЭМП в кристаллизаторе сортовой МНЛЗ с внутренним (а) и внешним (б) расположением

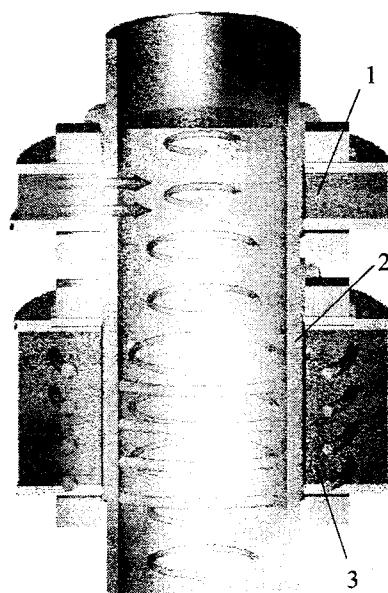


Рис. 3.47. Схема устройства электромагнитного торможения в кристаллизаторе сортовой МНЛЗ:

- 1 – постоянный электромагнит;
- 2 – гильза кристаллизатора;
- 3 – катушка индуктора

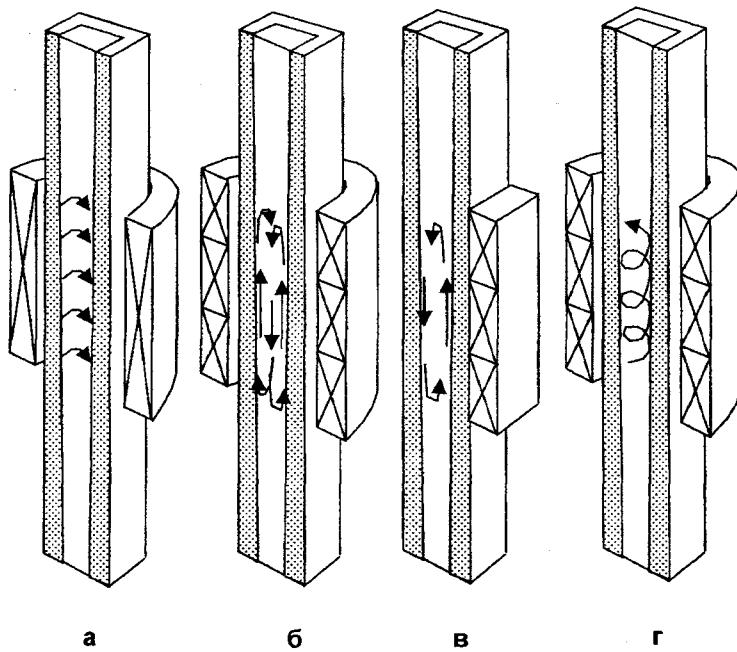


Рис. 3.48. Схема устройств ЭМП индуктивного типа для зоны вторичного охлаждения сортовых и блюмовых МНЛЗ:

- а – с вращающимся полем;
- б – с линейным полем, получаемым при помощи цилиндрических катушек;
- в – с линейным полем, получаемым при помощи пластинчатой катушки;
- г – с геликоидальным полем

или спиралевидное перемешивание металла.

Наибольший эффект по улучшению качества заготовок получается при применении устройств ЭМП металла на сортовых МНЛЗ. На них они легко встраиваются в существующие конструкции кристаллизаторов и роликовую проводку зоны вторичного охлаждения.

Применение ЭМП металла на слябовых МНЛЗ не столь эффективно и имеет свои особенности. Это связано с тем, что конечная часть жидкой лунки в слябовой заготовке имеет ярко выраженную форму клина. В результате этого в центральной части такой заготовки не происходит образования мостов, V-образной осевой рыхлости и осевой ликвации. Установка устройств ЭМП затруднена из-за большой толщины рабочих и опорных плит в кристаллизаторе и частого расположения поддерживающих элементов в зоне вторичного охлаждения слябовой МНЛЗ.

Фирмами "Кавасаки сэйтэцу" (Япония) и ACEA (Швеция) разработана технология электромагнитного торможения стали в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ. В его основу положено воздействие постоянного магнитного поля, перпендикулярного к направлению движения жидкого металла. Струя стали, выходящая из погружного стакана, движется в магнитном поле, вследствие чего в металле индуцируются вихревые токи. При их взаимодействии с постоянным магнитным полем возникают силы, действие которых направлено в противоположном движению металла направлении. Это ведёт к снижению скорости потока металла, что способствует всплытию неметаллических включений и ассилияции их шлаком, предотвращает размытие оболочки по узким граням сляба и снижает вероятность прорывов металла, в результате чего возможно увеличение скорости разливки примерно на 30 %.

На слябовых машинах устройства ЭМП металла обычно устанавливаются в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ. Существует множество вариантов размещения устройств ЭМП в этой зоне, некоторые из которых показаны на рис. 3.49.

Первые шесть вариантов устройств основаны на принципе индуктивного перемешивания, а последнее устройство – на принципе кондуктивного перемешивания. В вариантах а, б, в, д и ж движение металла под действием электромагнитных сил происходит в плоскости, перпендикулярной оси сляба. В остальных вариантах перемешиваемый металл движется вдоль заготовки.

Наибольшее распространение из всех вариантов получили устройства ЭМП индуктивного типа фирм "ИРСИД" (Франция) и ACEA (Швеция). Фирмой "ИРСИД" разработан неприводной поддерживающий ролик зоны вторичного охлаждения с вмонтированным индуктором. Ось ролика со встроенным индуктором являются неподвижными, а корпус ролика из немагнитной стали вращается в подшипниках качения. Такое устройство из-за макси-

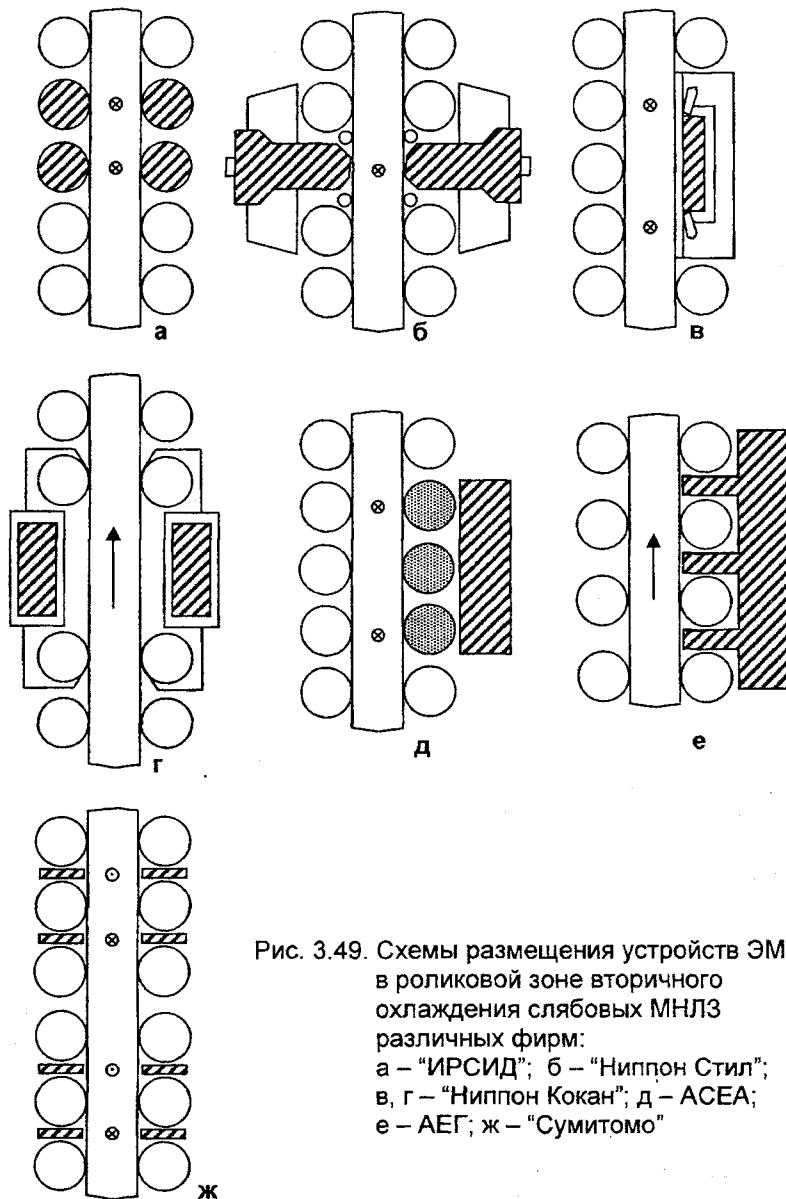


Рис. 3.49. Схемы размещения устройств ЭМП в роликовой зоне вторичного охлаждения слябовых МНЛЗ различных фирм:
а – “ИРСИД”; б – “Ниппон Стил”;
в, г – “Ниппон Кокан”; д – ACEA;
е – АЕГ; ж – “Сумитомо”

мальной приближённости к слябу имеет наиболее высокий коэффициент полезного действия среди всех устройств индуктивного типа. Однако эксплуатационная надёжность такого ролика является невысокой.

Устройство ЭМП фирмы АСЕА имеет автономное исполнение и располагается за роликами зоны вторичного охлаждения МНЛЗ. Ролики перед устройством и металлоконструкции под перемешивателем должны изготавливаться из немагнитной стали. Вследствие значительного расстояния до заготовки к.п.д. устройства является очень низким, поэтому оно должно иметь самую высокую установленную мощность.

Все другие устройства индуктивного типа являются промежуточными вариантами между рассмотренными выше двумя типами устройств. Они обычно затрудняют охлаждение и поддержание слябовой заготовки в зоне вторичного охлаждения машины.

Наиболее высоким к.п.д. обладает устройство ЭМП кондуктивного типа фирмы "Сумитомо" (рис. 3.49, ж). Слабым узлом такого устройства является конструкция подвода через бочку ролика к слябу тока большой величины (до 7000 А). Между роликом и заготовкой может образовываться электрическая дуга, вызывающая подплавление ролика и нарушение работы устройства ЭМП.

Применение ЭМП на слябовых МНЛЗ часто сопровождается нежелательным явлением – появлением "белых" полос с пониженным содержанием примесей вследствие их вымывания на границе фронта кристаллизации циркуляционными потоками металла. Это явление особенно усиливается с увеличением мощности используемого устройства ЭМП.

Усилие перемешивания жидкого металла в лунке непрерывнолитой заготовки зависит от параметров применяемого тока. В устройствах ЭМП индуктивного типа для отливки непрерывнолитой заготовки различных видов используется ток со следующими параметрами:

Вид заготовки	Оптимальная частота тока, Гц	Число фаз	Сила тока, А	Мощность, кВ·А
Сортовая	50...60	3	325	200
Блюмовая:				
мелкая	50...60	3	480	400
средняя	15...25	3	500	200...335
крупная	8...12	3	1200	800

Вид заготовки	Оптимальная частота тока, Гц	Число фаз	Сила тока, А	Мощность, кВ·А
Слябовая при перемешивании:				
\perp оси	1...2	2	1000	400...800
вдоль оси	1...4	2	1000...1200	400...800

Из представленных данных видно, что с увеличением размеров поперечного сечения отливающей заготовки происходит возрастание мощности и силы используемого тока. При этом частота тока снижается для минимизации ослабления магнитного поля вследствие возрастающего экранирующего эффекта от плит кристаллизатора и поддерживающих устройств зоны вторичного охлаждения машины.

Важное значение имеет выбор места расположения перемешивающих устройств по длине технологической линии МНЛЗ. Наиболее высокого качества заготовки достигается при применении двухстадийного или даже трёхстадийного перемешивания, когда устройства ЭМП располагаются в кристаллизаторе, в зоне вторичного охлаждения и на участке конечного затвердевания заготовки. Такие рекомендации в основном относятся к сортовым и блюмовым заготовкам. Вопрос о целесообразности применения ЭМП в слябовых МНЛЗ является очень сложным. Это объясняется меньшей эффективностью перемешивания, образованием слоистой сегрегации примесей, трудностями в размещении устройств, высокими капитальными и эксплуатационными затратами на ЭМП. Применение ЭМП экономически оправдано при отливке слябов для изготовления толстых листов и листов специального назначения из высоколегированной и высококачественной стали, особенно в тех случаях, когда к качеству металла листов предъявляются повышенные требования.

3.12. Автоматизированная система управления МНЛЗ

Для улучшения технико-экономических показателей работы МНЛЗ используется автоматизированная система управления технологическим процессом разливки стали (АСУ ТП).

Основными целями АСУ ТП являются:

- повышение качества отливаемых заготовок за счёт оптимизации и стабилизации основных параметров непрерывной разливки стали с минимальными затратами;
- увеличение производительности МНЛЗ вследствие прогнозирования возможных выходов из строя элементов технологического оборудования и своевременной их замены;
- увеличение выхода годного металла за счёт оптимизации раскроя заготовки на мерные части;
- улучшение условий труда обслуживающего персонала.

АСУ ТП выполнена по двухуровневому иерархическому принципу и включает:

- базисный уровень ("Уровень 1");
- уровень организационного управления ("Уровень 2").

Базисный уровень реализует:

- управление механизмами МНЛЗ с помощью локальных подсистем управления (рис. 3.50);
- визуализацию технологического процесса (рис. 3.51);
- измерение, хранение и анализ параметров технологического процесса;
- связь с объектами управления.

Базисный уровень обеспечивает контроль:

- массы металла в сталеразливочном ковше;
- массы металла в промежуточном ковше;
- температуры жидкого металла в промежуточном ковше;
- уровня металла в кристаллизаторе;
- параметров качания кристаллизатора;
- процесса теплосъёма со стенок кристаллизатора;
- скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора;
- теплового режима зон вторичного охлаждения;
- аварийного отклонения параметров и действия защит;
- прохождения заготовки через роликовую проводку и рольганги машины;
- процесса порезки заготовки на мерные части;
- параметров электрического и механического оборудования;



Рис. 3.50. Схема базисного уровня АСУ ТП МНЛЗ

- параметров систем смазки и гидравлики;
- нагрузки на приводах;
- действий операторов по управлению технологическим процессом.

Базисный уровень обеспечивает управление:

- уровнем металла в промежуточном ковше и кристаллизаторе;
- приводом механизма качания кристаллизатора;
- приводами роликов МНЛЗ;
- тепловым режимом кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения;
- процессом охлаждения оборудования;
- процессом порезки заготовки и работой машины газовой резки;
- работой рольгангов и устройства передачи заготовок.

Автоматизированные локальные подсистемы управления базисного уровня связаны между собой при помощи оптовово-локонной техники, исключающей влияние электромагнитных на-

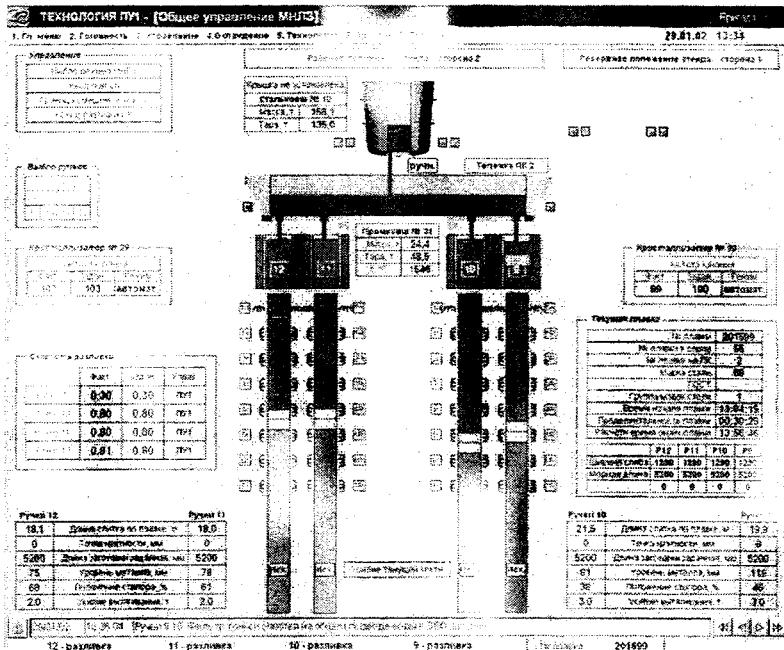


Рис. 3.51. Информация об общем состоянии МНЛЗ

водок и помех.

Подсистема "Разливочная площадка" обеспечивает контроль и управление:

- механизмами разливочной площадки;
- гидроприводами;
- системами смазки.

Подсистема "Весоизмерение" обеспечивает:

- измерение массы металла в сталеразливочном ковше;
- измерение массы металла в промежуточном ковше;
- автоматическую стабилизацию массы металла в промежуточном ковше;
- приём и обработку информации о температуре металла в промежуточном ковше;

- определение границ металла разных плавок в заготовке при серийной разливке;
- передачу информации на крупногабаритное табло (рис. 3.52).

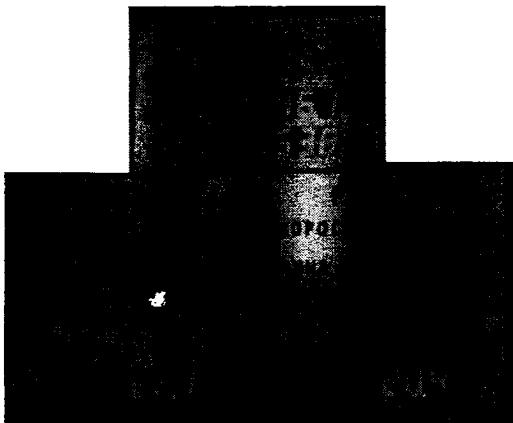


Рис. 3.52. Вид крупногабаритного табло с информацией о параметрах разливки стали

Для измерения массы металла в сталеразливочном и промежуточном ковшах применяются тензометрические датчики (месдозы). Автоматическое поддержание массы металла в промежуточном ковше осуществляется следующим образом. Сигнал от месдоз последовательно поступает на преобразователь сигнала, задатчик и регулирующий прибор, который управляет работой пневматических или гидравлических сервомеханизмов, действующих на шиберный затвор сталеразливочного ковша. В схеме управления имеется также компенсатор массы порожнего промежуточного ковша, позволяющий установить истинную массу металла.

Пример тарирования весоизмерения сталеразливочного ковша в резервной и рабочей позициях приведён на рис. 3.53.

Подсистема "Кристаллизатор" обеспечивает:

- измерение уровня металла в кристаллизаторе;
- регулирование уровня металла в кристаллизаторе в процессе разливки;
- определение качества работы шлакообразующей смеси;

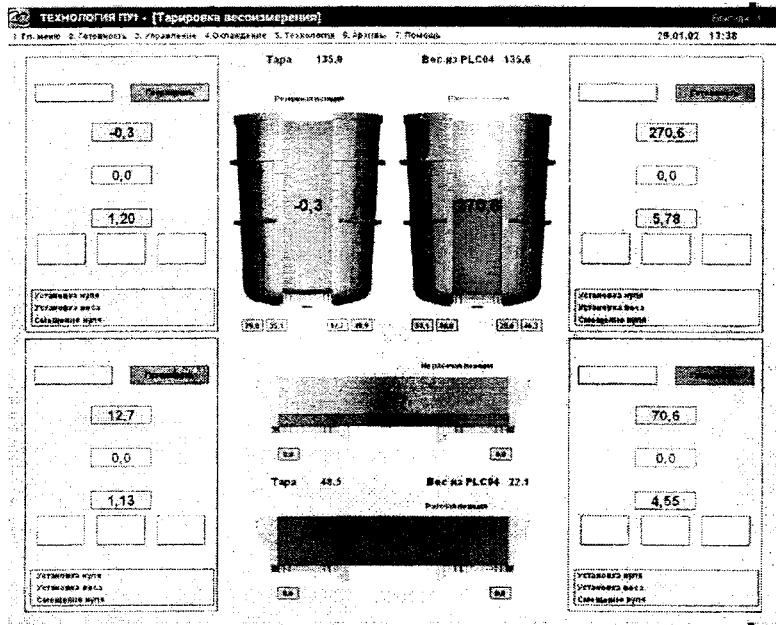


Рис. 3.53. Информация о тарировании весоизмерения сталеразливочного ковша

- контроль отклонения от среднего усилия вытягивания заготовки из кристаллизатора;
- контроль параметров качания кристаллизатора.

Один из вариантов подсистемы "Кристаллизатор – 2000" разработан отечественной фирмой "ТЕХНОАП". Этот вариант включает в себя три составные части: "Уровень", "Качание" и "Подвисание" с общей системой визуализации, обработки и архивирования данных.

Подсистемная часть "Уровень" предназначена для автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе. Схема её показана на рис. 3.54.

Датчик уровня металла состоит из штатива с трубчатым кронштейном, на котором шарнирно закреплён чувствительный элемент с защитным кожухом. Элемент имеет внутреннее воз-

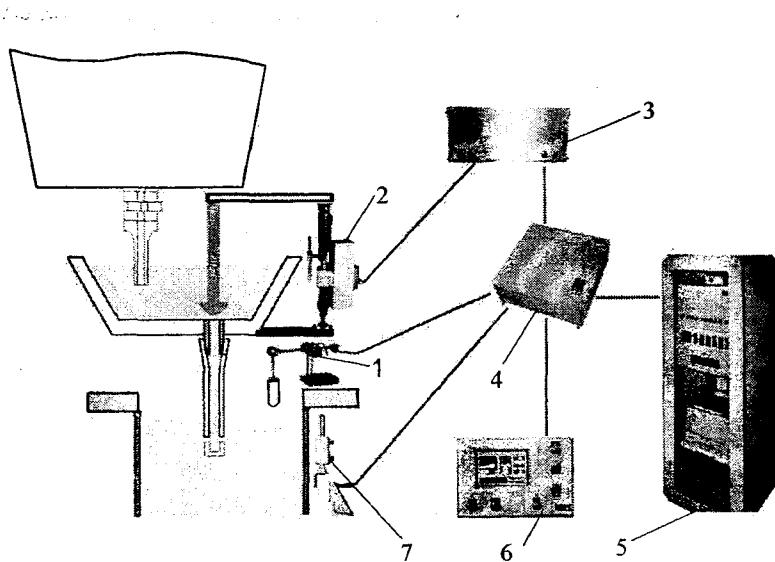


Рис. 3.54. Схема элементов подсистемной части "Уровень":
 1 – датчик уровня металла; 2 – электромеханический привод стопора; 3 – блок силовой электроники (исполнительное устройство системы);
 4 - электронный блок; 5 – стойка системы визуализации и архивации данных; 6 – пульт разливчика; 7 – датчик положения кристаллизатора

душное охлаждение. Чувствительный элемент опускается в полость кристаллизатора и находится на расстоянии 25...60 мм от уровня металла.

Такой датчик электромагнитного типа имеет два контура: передатчика и приёмника. Контур передатчика при питании переменным током с помощью магнитного поля наводит в жидком металле вихревые токи Фуко. Эти токи создают своё магнитное поле, которое индуцирует в контуре приёмника электрический ток. Его величина пропорциональна расстоянию от датчика до уровня металла в кристаллизаторе. При этом слой шлака не оказывает влияния на точность измерения. Ток поступает в электронный блок системы, в котором производится преобразование электрического сигнала в цифровую форму и вычисляется текущее

значение уровня металла в кристаллизаторе. Результат вычисления сравнивается с установленным программой значением. В зависимости от величины и знака рассогласования вырабатывается цифровой сигнал управления приводом стопора. Сигнал управления подается в блок силовой электроники – исполнительное устройство системы. Здесь он преобразуется в аналоговую форму, усиливается по мощности и приводит в движение механизмы привода стопора. Привод перемещает стопор в новое положение, изменения поступление жидкого металла в кристаллизатор, и тем самым, восстанавливая заданный уровень металла.

В этой системе используется электромагнитный датчик, не содержащий радиоактивных веществ. Такой датчик обеспечивает более высокую точность измерения уровня металла и не представляет опасности при использовании, хранении и утилизации по сравнению с изотопным датчиком. В данной системе управление положением стопора производится при помощи электрического привода, который проще и удобнее при эксплуатации и обслуживании в сравнении с гидравлическим приводом.

Электромагнитные датчики измерения уровня металла чаще всего применяются при разливке стали закрытой струей, когда колебания уровня металла в кристаллизаторе не превышают 100 мм. При автоматическом режиме колебания уровня металла в кристаллизаторе не превышают ± 2 мм, а скорость регулирования уровня составляет 0,5 мм/с. Для сравнения – при ручном режиме аналогичные параметры равны, соответственно, ± 5 мм и 1...3 мм/с. В результате меньшего колебания уровня металла в кристаллизаторе снижается вероятность подвисания корки заготовки и аварийных прорывов жидкого металла.

В кристаллизаторах сортовых МНЛЗ широко применяются радиоактивные датчики уровня. Это объясняется колебанием уровня металла в широких пределах при режиме разливки стали открытой струей. С одной стороны кристаллизатора устанавливается источник радиоактивного излучения в виде плоского факела. В той же плоскости с другой стороны кристаллизатора находится приёмник излучения. Часть излучения, направленного на жидкий металл, им поглощается. Другая часть, проходящая выше его уровня, достигает приёмника. Поэтому сигнал, полученный приёмником, соответствует уровню металла в кристаллизаторе. Однако радиоактивное излучение опасно для человека и требует применения специальных средств защиты. В связи с этим разрабатываются новые датчики уровня. Известны датчи-

ки, принцип работы которых основан на оптических методах измерения, а также датчики, использующие микроволновые колебания. Однако этими датчиками не различаются слои металла и шлака.

Подсистемная часть "Качание" ("Динаскоп") служит для контроля движений кристаллизатора при его качании, состояния механизма качания, усилия вытягивания заготовки из кристаллизатора, качества шлакообразующей смеси и выработки интегрального критерия качества непрерывнолитой заготовки.

Она имеет следующие основные технические характеристики:

погрешность определения линейных перемещений кристаллизатора – не более $\pm 0,05$ мм;

погрешность определения угловых перемещений кристаллизатора – не более ± 2 угл. сек.;

погрешность определения центра качания кристаллизатора – не более 5 %;

разрешающая способность канала измерения усилия вытягивания заготовки – не менее 300 Н.

Состав данной подсистемной части приведен на рис. 3.55.

На этом рисунке условно показано расположение двух из трёх имеющихся датчиков ускорения кристаллизатора на съёмном блоке механизма качания. Эти датчики измеряют ускорение кристаллизатора в контрольных точках. Каждый датчик состоит из чувствительного элемента – акселерометра, электронной платы, усиливающей сигнал с акселерометра, и корпуса с системой воздушного охлаждения. Датчик усилия вытягивания измеряет нагрузки в механизме качания кристаллизатора с помощью тензометров. Сигналы с датчиков первичной информации поступают в кросс-блок, объединяющий эти сигналы с входами электронного блока. В электронном блоке – многопроцессорной системе, осуществляется усиление, фильтрация и аналогово-цифровое преобразование данных в соответствии с разработанными алгоритмами. Информация о процессе разливки выдаётся на пульт оператора, а также архивируется.

Данная подсистемная часть может функционировать в двух режимах: штатном и чтения архива.

Автоматизированная система позволяет произвести оценку качества поверхности отливаемой непрерывнолитой заготовки непосредственно в процессе разливки по количественному значению вырабатываемого сигнала – критерия "вибрация", ко-

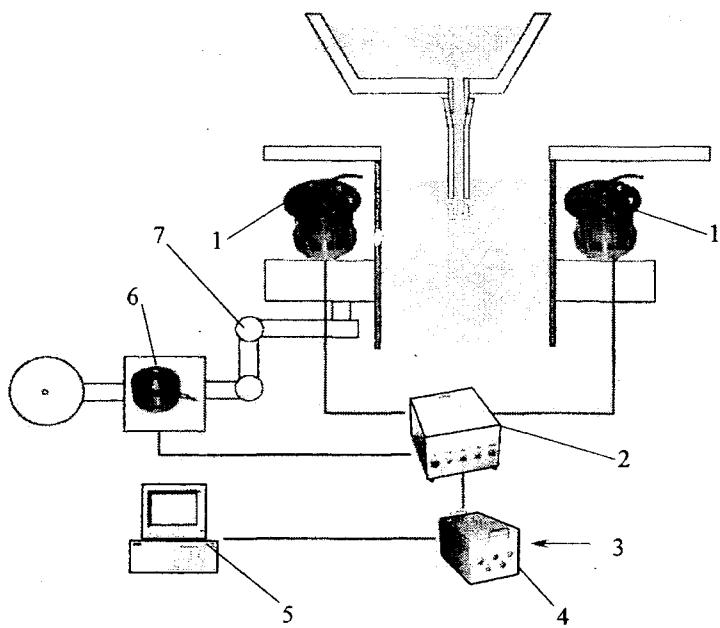


Рис. 3.55. Состав подсистемной части "Динаскоп":

- 1 – датчик ускорения кристаллизатора;
- 2 – кросс-блок; 3 – сигнал о скорости вытягивания заготовки;
- 4 – электронный блок усиления, фильтрации и обработки сигналов;
- 5 – пульт оператора; 6 – датчик усилия вытягивания;
- 7 – механизм качания

торый зависит от силы трения между контактирующими поверхностями вытягиваемой заготовки и кристаллизатора. Увеличение величины сигнала – критерия "вibration" в процессе разливки свидетельствует о наличии на поверхности заготовки шлаковых включений. При сравнительном анализе условий разливки непрерывнолитых слябов с фиксированием величины сигнала – критерия и результатов оценки качества поверхности заготовок были получены следующие данные:

Количество слябов, шт./ %	Величина сигнала-критерия "вибрация", %	Наличие шлаковых включений
647 / 95,4	30...100	Отсутствовали
31 / 4,6	101...160	Присутствовали

Совместная обработка информации от датчиков, измеряющих усилие вытягивания, и датчиков, контролирующих траекторию движения кристаллизатора, позволяет разделить "сухую" (без шлака) и "вязкую" (со шлаком) составляющие силы трения между заготовкой и кристаллизатором. Это открыло широкие возможности для объективной – на основе количественных значений параметра – оценки эффективности работы шлакообразующей смеси в кристаллизаторе в качестве смазки, подбора требуемых составов смесей при разливке стали разных марок с различными температурно-скоростными режимами.

Подсистемная часть "Подвисание" ("Термовизор") с помощью термодатчиков по специальным алгоритмам измеряет тепловое поле рабочей поверхности кристаллизатора и фиксирует прилипание корочки заготовки к стенке кристаллизатора. Система отличается от других аналогичных систем тем, что имеет три ряда вмонтированных в стенки кристаллизатора термодатчиков на расстоянии 164, 280 и 430 мм от верхней кромки медных пластин. Количество термодатчиков (до 120 штук) и плотность их размещения значительно выше, чем у других производителей подобной продукции. Это позволяет обнаруживать точки прилипания корочки заготовки к медным пластинам кристаллизатора на большей глубине в кристаллизаторе. Для системы характерно раннее обнаружение прилипания, что увеличивает время на предупреждение прорыва корки затвердевшего металла.

Автоматизированная система выдает качественно новую информацию о взаимодействии кристаллизатора и заготовки – это информация о распределении температуры по стенкам кристаллизатора и изменении этого распределения во времени. Это позволяет своевременно обнаружить подвисание заготовки в кристаллизаторе, оценить эффективность работы шлакообразующей смеси, подобрать требуемый скоростной режим вытягивания заготовки.

На рис. 3.56 показано характерное распределение температурного поля стенок кристаллизатора в момент подвисания корочки заготовки в кристаллизаторе и локального разогрева медных стенок кристаллизатора. Три изображения температур-

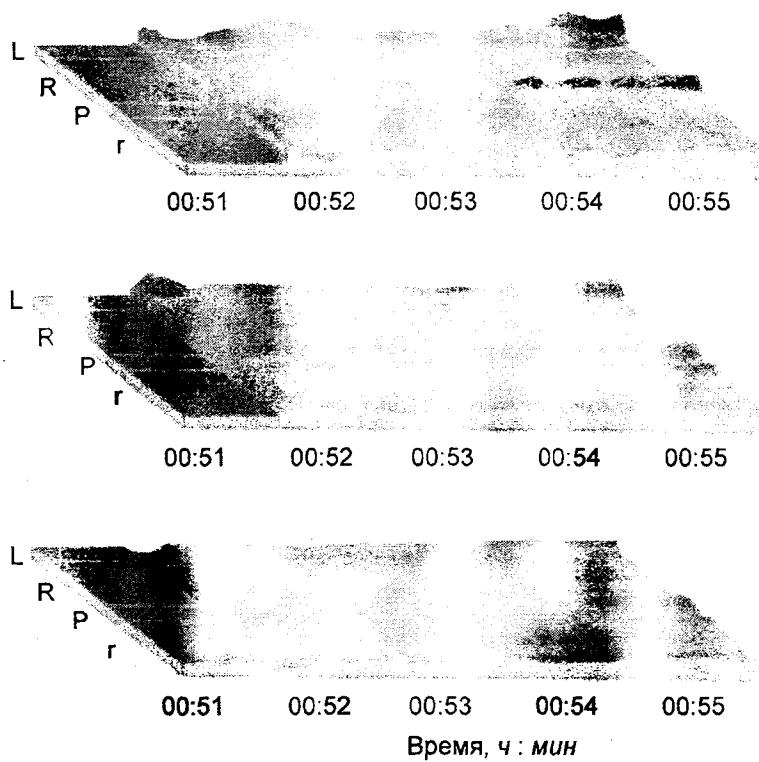


Рис. 3.56. Вид изображения температурного поля стенок кристаллизатора на различном расстоянии от верхней кромки медных пластин:
 164 мм – вверху, 280 мм – в середине;
 430 мм – внизу;
 L и R – узкие стенки с левой и правой стороны;
 R и г – широкие стенки по большому и малому радиусам

ных полей получены для верхнего, среднего и нижнего уровней расположения термодатчиков на расстоянии 164, 280 и 430 мм от верхней кромки медных пластин. На каждом изображении по вертикальной оси указана температура медной пластины кристаллизатора, по горизонтальной – время, по оси в глубину – развернутое в прямую линию распределение температуры по периметру кристаллизатора с обозначением левой и правой узких стенок, широких стенок по большому (базовому) и малому радиусам. Объемное изображение температурного поля имеет разную цветовую окраску. В черно-белом варианте изображения увеличение интенсивности окраски соответствует повышению температуры стенок.

Так из рисунка видно, что на расстоянии 164 мм от верхней кромки медных пластин на левой узкой и широкой по большому радиусу стенкам кристаллизатора наблюдается локальный разогрев. При этом системой предусмотрена звуковая и световая сигнализация с указанием места подвисания на мониторе оператора. В результате своевременного снижения скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора удается предотвратить возникновение аварийного прорыва жидкого металла.

Подсистема "Ручей" обеспечивает контроль и управление:

- частотой качания кристаллизатора с автоматической подстройкой к скорости вытягивания заготовки и марке разливаемой стали;
- скоростью вытягивания заготовки по каждому ручью;
- токовыми нагрузками на электроприводах роликового аппарата;
- работой тиристорных преобразователей кристаллизатора и роликового аппарата;
- приводами рольгангов приемно-транспортного оборудования;
- прохождением заготовки с поясами через роликовую проводку.

Информация о состоянии двух ручьев МНЛЗ представлена на рис. 3.57.

Подсистема "Охлаждение" обеспечивает контроль и управление охлаждением:

- кристаллизатором;
- заготовки;
- оборудования.

Охлаждающая вода измеряется с помощью индукционных

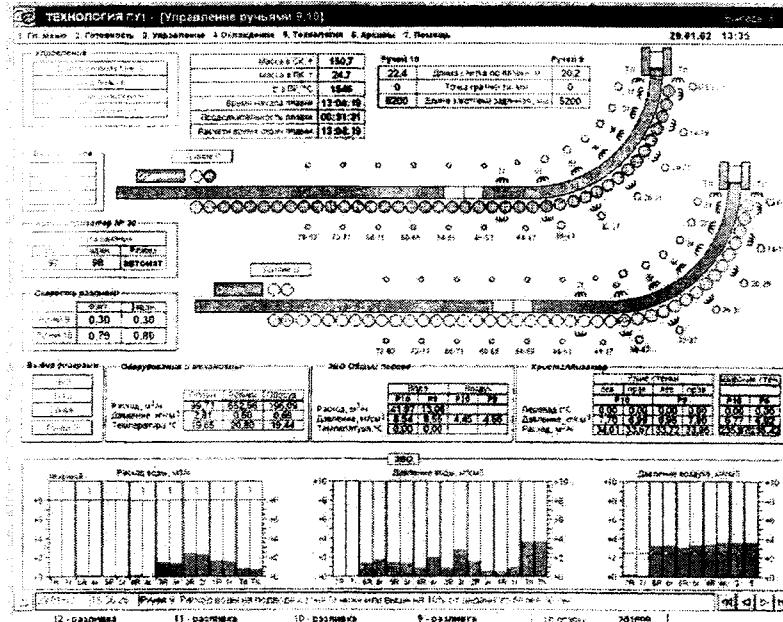


Рис. 3.57. Информационные данные о состоянии ручьёв МНЛЗ на пульте управления

расходомеров типа Promag 50р. Подача воды регулируются в широком диапазоне клапанами с электрогидравлическими исполнительными механизмами фирмы Samson.

Подсистема работает в трёх режимах:

- автоматического управления от “Уровня 2” с оптимизацией водовоздушного охлаждения заготовки;
 - автоматического управления по заданию оператора;
 - дистанционного управления при обслуживании систем охлаждения.

Информация о работе вторичного охлаждения заготовки представлена на рис. 3.58.

Подсистема "Машина газовой резки" обеспечивает контроль и управление:

- электроприводами механизмов машины газовой резки

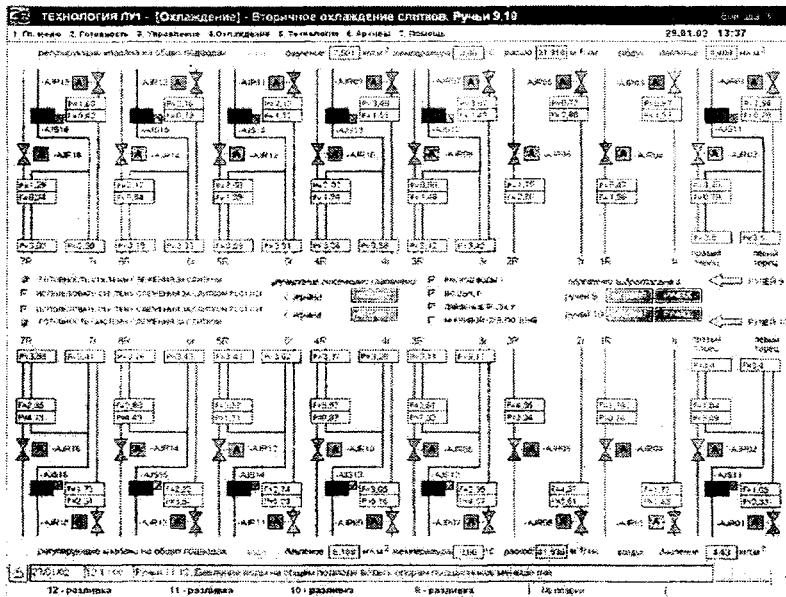


Рис. 3.58. Информация о работе вторичного охлаждения заготовки

(МГР);

- порезкой заготовки на мерные части;
- устройством грануляции и гидросмывом шлама;
- гидравлическими и пневматическими приводами механизмов МГР;
- устройствами отделения и аварийного подъёма затравки.

Подсистема работает в двух режимах:

- автоматической порезки заготовки по раскройному плану от "Уровня 2";
- автоматической и полуавтоматической порезки заготовки по заданию оператора.

На рис. 3.59 показано управление МГР в двухручьевом варианте работы.

Управление МГР в четырёхручьевом варианте работы представлено на рис. 3.60.

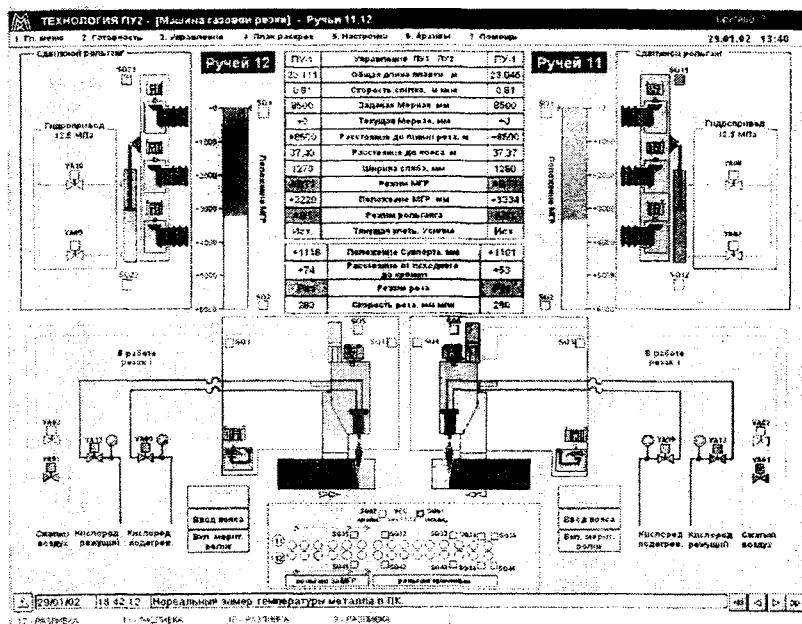


Рис. 3.59. Управление машиной газовой резки в двухручьевом варианте работы (вид спереди)

Подсистема "Устройство передачи слябов" обеспечивает контроль и управление электроприводами механизма перемещения слябов со стеллажей на рольганги и обратно (рис. 3.61) в полуавтоматических циклах.

Уровень организационного управления ("Уровень 2") реализует оптимальное управление технологическим процессом разливки стали по математическим моделям для решения следующих задач:

- оптимизация ритма разливки;
- подготовка позаготовочной информации;
- составление паспорта разливки;
- управление охлаждением заготовки в переходных процессах по модели вторичного охлаждения;
- составление плана оптимального раскроя заготовки;

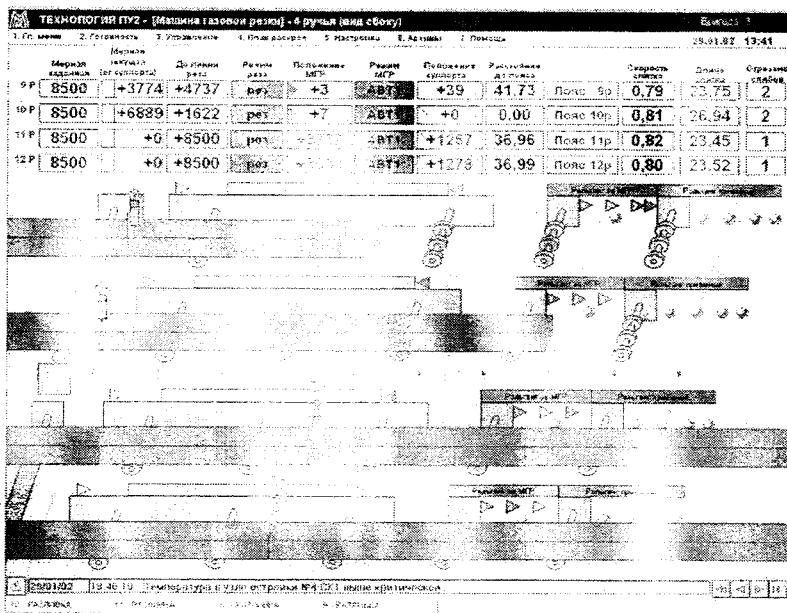


Рис. 3.60. Управление машиной газовой резки в четырёхручьевом варианте работы (вид сбоку)

– архивирование информации по МНЛЗ для длительного хранения.

Структура программного обеспечения “Уровня 2” приведена на рис. 3.62.

Основными режимами работы МНЛЗ являются:

- “ремонтные работы” (оператор управляет каждым механизмом дистанционно, роликовым аппаратом – реверсивно с главного поста управления – ПУ 1 и поста управления машиной газовой резки – ПУ 2);

- “заведение затравки” (оператор управляет реверсивно роликовым аппаратом для позиционирования затравки относительно кристаллизатора);

- “0-режим” (блокировка случайного запуска приводов роликового аппарата ручьёв и механизма качания кристаллизатора).

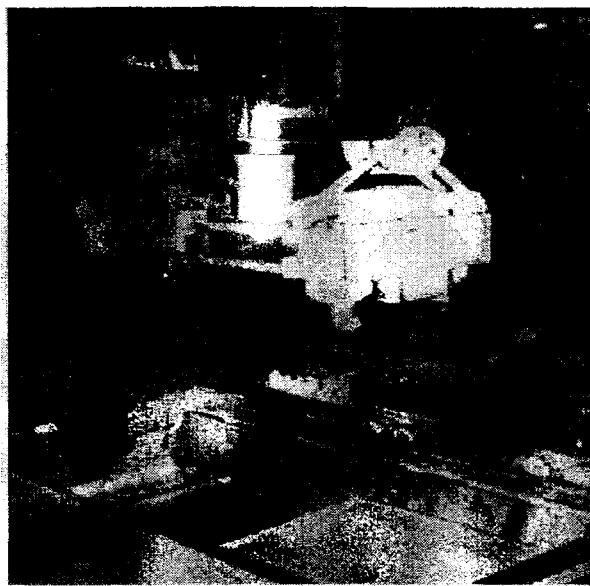
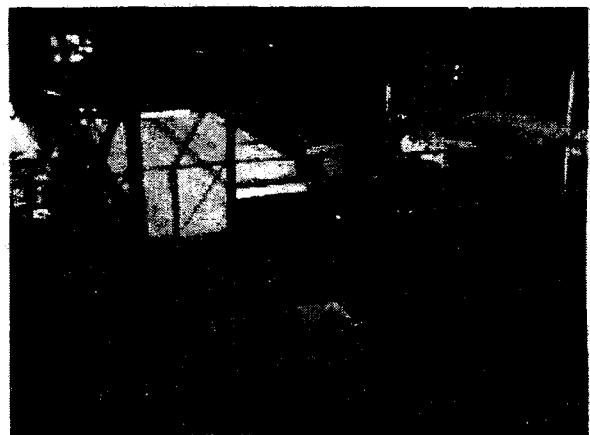


Рис. 3.61. Перемещение слябов с рольганга на стеллажи (вверху) и в накопитель (внизу)

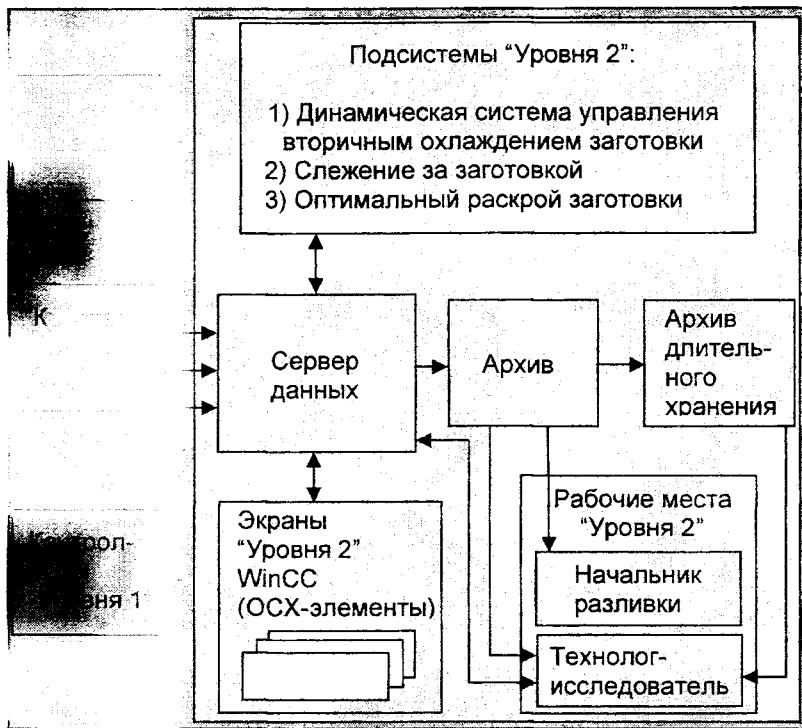


Рис. 3.62. Структура программного обеспечения "Уровня 2"

для предотвращения сдвига затравки);

- “разливка” (автоматическое управление разливкой металла);
- “окончание разливки” (снижение скорости вытягивания заготовки, автоматическое отключение зон вторичного охлаждения после выхода заготовки из кристаллизатора, передача управления роликовым аппаратом на пост ПУ 2).

АСУ ТП предусматривает три режима управления механизмами МНЛЗ:

- автоматический (с “Уровня 2” на локальные подсистемы поступают задания управления механизмами с учётом оптимиза-

ции технологического процесса, операторы на постах управления контролируют выполнение заданий);

– автоматизированный (управление технологическим процессом по заданиям операторов с постов управления);

– дистанционный – наладочный (оператор управляет каждым механизмом дистанционно с постов управления).

Основные технологические посты МНЛЗ:

– главный пост управления – ПУ 1;

– пост управления машиной газовой резки – ПУ 2.

С главного поста управления оператор выбирает режимы работы МНЛЗ и режимы ведения процесса. Он управляет качанием кристаллизатора, приводами роликового аппарата, процессом охлаждения кристаллизатора, заготовки и оборудования.

С поста управления машиной газовой резки оператор управляет машиной газовой резки, устройством грануляции и шлама, проводами роликового аппарата при окончании разливки, приводами рольгангов.

Оборудование АСУ ТП МНЛЗ реализовано на промышленных контроллерах и низковольтных коммутационных устройствах фирмы "Siemens".

Схема диагностики технических средств АСУ ТП МНЛЗ приведена на рис. 3.63.

В нижней части схемы приведены технические средства "Базисного уровня" ("Уровня 1") в сокращённом варианте (отсутствует автоматизированная подсистема управления "Кристаллизатор 2000").

В верхней части схемы находятся технические средства "Уровня организационного управления" ("Уровня 2").

На данной схеме использованы следующие обозначения:

ПУ1, ПУ2, ПУ3, ПУЗа – пост управления с соответствующим номером;

WinCC – экраны "Уровня 2";

ИВЦ – информационно-вычислительный центр;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

ПА – помещение автоматизации;

ЭП3, ЭП4 – электропомещение с соответствующим номером;

МГР – машина газовой резки;

УПС – устройство передачи слябов;

ПЕ1, ПЕ2 – пульт передвижения агрегата или механизма.

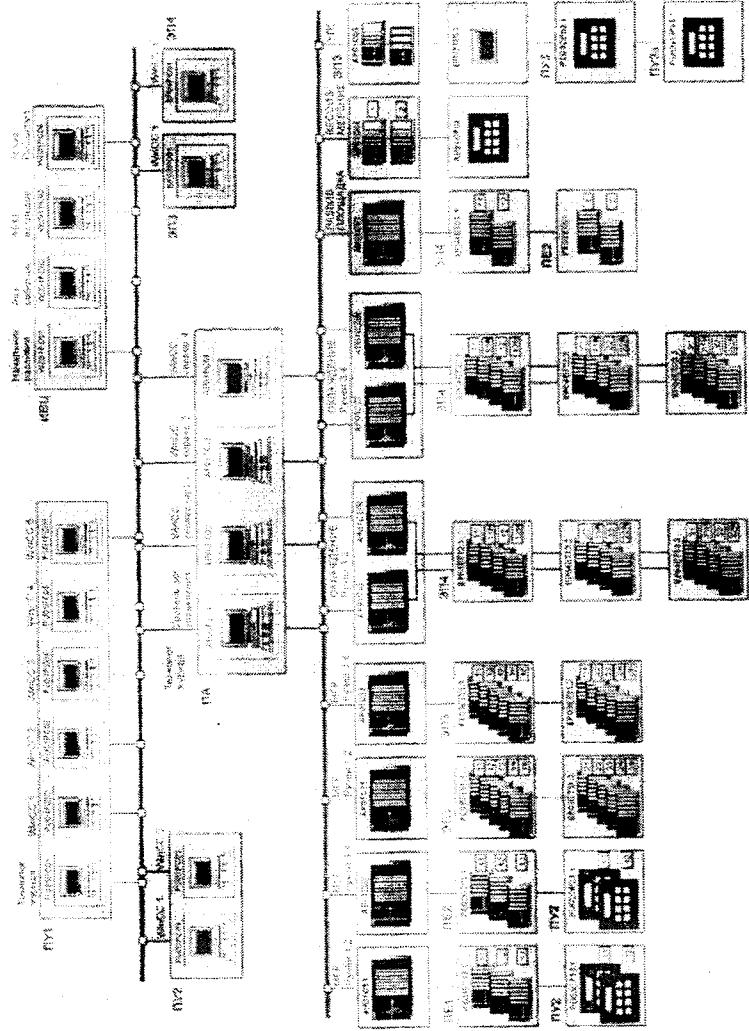


Рис. 3.63. Схема диагностики комплекса технических средств АСУ ТП МНЛЗ

Таким образом, автоматизированная система управления технологическим процессом МНЛЗ позволяет производить разливку стали в автоматическом режиме и получать полный объём необходимой информации обслуживающему персоналу.

ГЛАВА 4. СХЕМА КОМПОНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ МНЛЗ

МНЛЗ любого типа представляет собой сложный комплекс технологического оборудования, предназначенного для выполнения различных функций. Всё это оборудование должно располагаться в определённой последовательности и взаимосвязи друг с другом – то есть быть скомпонованным. При этом компоновка оборудования должна отвечать ряду требований:

- стабильность положения технологической оси машины в процессе длительного периода её непрерывной эксплуатации;
- автономное функционирование различного оборудования;
- точная синхронизация работы оборудования;
- возможность быстрой замены отдельных узлов и целых комплексов оборудования в аварийных случаях;
- возможность переналадки всей машины на отливку заготовки другого сечения без замены составных элементов;
- высокий уровень механизации и автоматизации обслуживания и управления;
- соблюдение требований охраны труда и защиты окружающей атмосферы.

Для обеспечения стабильности положения технологической оси машины её оборудование устанавливается на индивидуальном монолитном железобетонном фундаменте независимо от другого оборудования и здания цеха. На фундаменте при помощи анкерных соединений крепятся опорные металлоконструкции в виде различных стоек, сварных или литых балок. Крепление балок производится в шарнирных опорах, одна из которых является фиксированной, а другая – плавающей. Схема расположения опор выполняется с учётом компенсации деформации рам, возникающей под действием усилий вытягивания заготовки из кристаллизатора. На балках с помощью быстроразъёмных соединений монтируются все технологические элементы и узлы машины.

Рассмотрим особенности схем компоновки технологических узлов слябовых и сортовых МНЛЗ.

4.1. Особенности компоновки узлов слябовой МНЛЗ

В современных высокопроизводительных сталеплавильных цехах для отливки слябовой непрерывнолитой заготовки используются криволинейные МНЛЗ. Главным отечественным разработчиком и производителем таких машин является ООО "Уралмаш – Метоборудование".

В этом акционерном обществе при разработке МНЛЗ придерживаются следующих принципов:

- схема криволинейной машины с прямым или радиальным кристаллизатором должна выбираться с учётом конкретных условий её работы и назначения;
- применение гибкой надувной затравки, вводимой в полость кристаллизатора сверху;
- соблюдение равномерных скоростей деформации на фронте кристаллизации внутри заготовки на всём участке её правки;
- жёсткая установка поддерживающих устройств зоны вторичного охлаждения с учётом усадки заготовки по толщине;
- рассредоточение приводных устройств для вытягивания заготовки из кристаллизатора по всей длине технологической оси машины при максимально возможном приближении к кристаллизатору;
- использование в качестве устройств для разделения заготовки на мерные части машин газовой резки и гидравлических ножниц.

Ниже рассмотрены технические характеристики слябовых МНЛЗ криволинейного типа конструкции ООО "Уралмаш – Метоборудование".

4.1.1. Техническая характеристика комбинированной криволинейной МНЛЗ

В ООО "Уралмаш – Метоборудование" впервые в отечественной металлургии спроектирована и изготовлена оригинальная по конструкции криволинейная МНЛЗ. Разливка стали на ней с получением слябовой заготовки может осуществляться в двухручьевом, трёхручьевом и четырёхручьевом режимах. Для перехода от двухручьевого к трёх- или четырёхручьевому режимам в

один или оба кристаллизатора устанавливаются охлаждаемые перегородки.

Техническая характеристика такой комбинированной машины следующая:

Тип МНЛЗ

Криволинейная
с радиальным
кристаллизатором
2...4 шт.

Количество ручьёв

Годовая проектная производительность 1,25 млн. т слябов

Фактическая годовая производительность около 2 млн. т

Размеры отливаемых слябов:

толщина	250 мм
ширина:	
при разливке в четыре ручья	750...1050 мм
при разливке в два ручья	1100...2350 мм
длина	4800...12000 мм
Скорость вытягивания	0,2...1,5 м/мин
Длина машины до оси	
резаков машины газовой резки	45940 мм
Металлургическая длина машины	35800 мм
Длина радиального участка машины	8790 мм
Длина криволинейного участка машины	7030 мм
Радиус кривизны базовой стенки	
кристаллизатора (по большому радиусу)	8000 мм
Высота радиального кристаллизатора	1200 мм
Расстояние между ручьями	6000 мм
Вместимость сталеразливочного ковша	370 т
Вместимость промежуточного ковша	45 т
Рабочий уровень металла в промежуточном ковше	1100 мм
Высота подъема промежуточного ковша на тележке	550 мм
Скорость порезки сляба	435 мм/мин
Отметка разливочной площадки	+ 9650 мм
Отметка полотна рольганга	+ 1000 мм

Схема компоновки оборудования комбинированной криволинейной МНЛЗ приведена на рис. 3.64.

Отличительной особенностью МНЛЗ является использование промежуточного ковша достаточно большой вместимости (45 т) с рабочим уровнем металла 1100 мм. Это обеспечивает

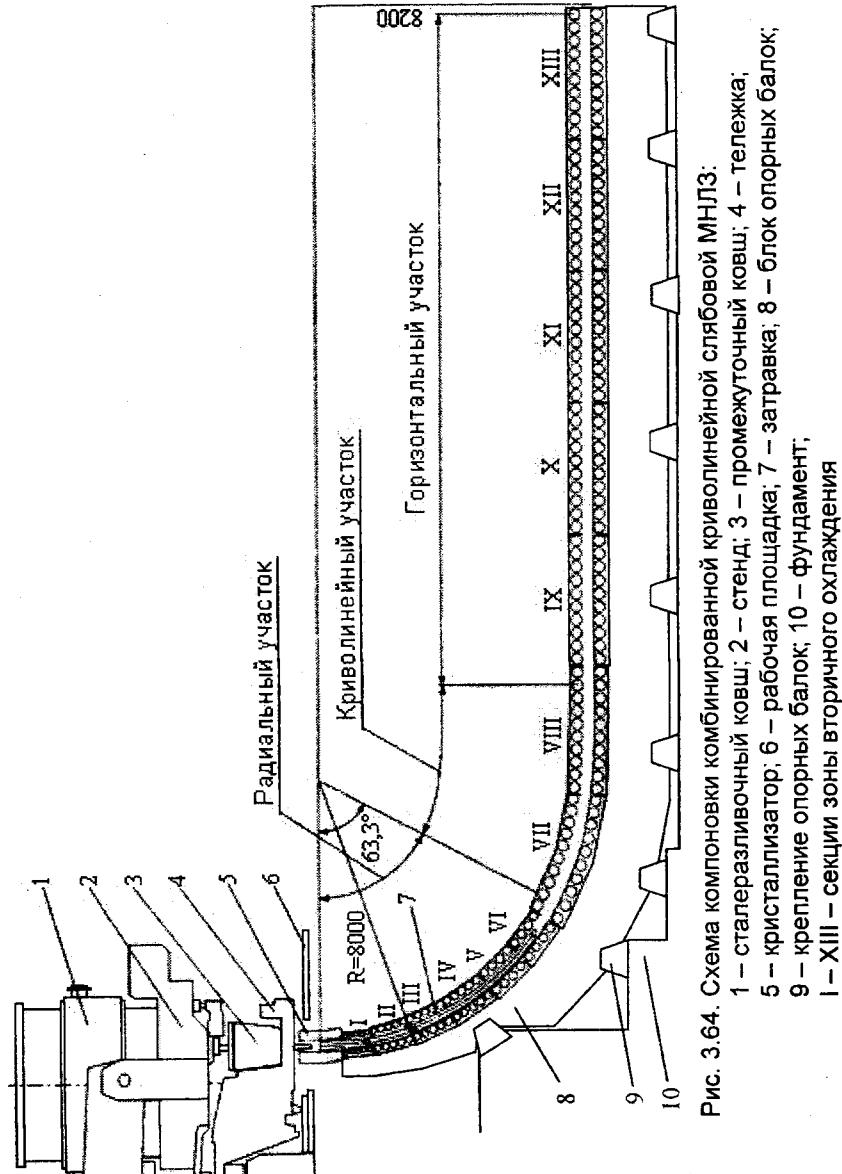


Рис. 3.64. Схема компоновки комбинированной криволинейной слябовой МНЛЗ:

- 1 – стан для разливки ковш; 2 – стенд; 3 – промежуточный ковш; 4 – тележка;
- 5 – кристаллизатор; 6 – рабочая площадка; 7 – затравка; 8 – блок опорных балок;
- 9 – крепление опорных балок; 10 – фундамент;
- I – XIII – секции зоны вторичного охлаждения

необходимый запас металла при смене сталеразливочных ковшей и благоприятные условия для удаления неметаллических включений.

Базовая стенка радиального кристаллизатора имеет сравнительно небольшой радиус кривизны (8000 мм), что позволило уменьшить высоту МНЛЗ, стоимость оборудования и затраты на строительство, однако осложнило получение слябов высокого качества.

Для осуществления четырехручьевого разливки слябов поддерживающие ролики зоны вторичного охлаждения выполнены "разрезными" и двухпоршными. При этом каждый ручей оснащен раздельным приводом и отдельной машиной газовой резки.

На МНЛЗ применено блочно-модульное исполнение 13 роликовых секций со следующими характеристиками:

Номер секции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Количество роликов,													
шт.	5	5	5	5	4	4	10	10	10	10	10	10	10
Диаметр ролика,													
мм	140	220	240	240	270	270	330	330	330	330	330	330	330
Величина зазора между роликами,													
мм	40	45	50	50	50	47	60	60	60	60	60	60	60

Настройка секций на технологические размеры производится предварительно на специальных стендах. Все секции криволинейного и горизонтального участков МНЛЗ являются унифицированными, что сокращает сроки ремонтов машины. С целью увеличения срока службы ролики выполнены бандажированными.

Замена секций зоны вторичного охлаждения должна производиться по следующему регламенту:

Номер секции	Количество разлитых плавок или продолжительность работы между заменами
Первая	250 плавок
Вторая	600 плавок

**Третья...шестая,
роликовые блоки криволинейного и
горизонтального участков**

6 месяцев

Вторичное охлаждение слябовой заготовки осуществляется в шести зонах, имеющих по стороне базового радиуса длину 0,15; 0,72; 1,29; 2,90; 2,56 и 3,9 м соответственно. В первых двух зонах используется охлаждение отливаемой заготовки водой, а во всех последующих зонах – водо-воздушной смесью. Применение водо-воздушного охлаждения позволяет более эффективно и равномерно охлаждать поверхность непрерывнолитой заготовки благодаря уменьшению диаметра капель воды и сокращению её удельного расхода.

В состав оборудования разливочной площадки входят:

- подъёмно-поворотный стенд для сталеразливочных ковшей;
- тележки для промежуточных ковшей;
- промежуточные ковши;
- кристаллизаторы;
- механизм качания кристаллизаторов;
- устройство для ввода гибкой надувной затравки.

4.1.2. Техническая характеристика высокопроизводительной криволинейной МНЛЗ

Высокопроизводительная криволинейная МНЛЗ с четырьмя постоянно действующими ручьями была построена в результате реконструкции базовой комбинированной МНЛЗ, конструкция и характеристика которой были рассмотрены в предыдущем разделе.

Основной целью реконструкции являлось существенное повышение производительности криволинейной МНЛЗ. Данная цель была достигнута в результате использования четырёхручьевого варианта для преобладающего профиля отливаемых слябов.

Реконструированная машина имеет следующую техническую характеристику:

Тип МНЛЗ

**Криволинейная
с радиальным
кристаллизатором**

4 шт.

Количество ручьёв

Годовая проектная производительность	3 млн. т слябов
Размеры отливаемых слябов:	
толщина	250 мм
ширина	1250...1350 мм
длина	4800...12000 мм
Скорость вытягивания (по механизмам)	0,2...2,0 м/мин
Рабочая скорость вытягивания заготовки	0,1...1,05 м/мин
Технологическая длина машины (от верха меди кристаллизатора до оси последнего ролика)	28000 мм
Длина радиального участка машины	8425 мм
Длина криволинейного участка машины	6722 мм
Длина горизонтального участка машины	12090 мм
Радиус кривизны базовой стенки кристаллизатора (по большому радиусу)	8000 мм
Расстояние между осями сдвоенных кристаллизаторов	6000 мм
Длина медных стенок кристаллизатора	950 мм
Частота качаний кристаллизатора	до 160 кач./мин
Амплитуда качания кристаллизатора	3 мм
Вместимость сталеразливочного ковша	370 т
Высота подъема сталеразливочного ковша	800 мм
Вместимость промежуточного ковша	50 т
Рабочий уровень металла в промежуточном ковше	1100 мм
Высота подъема промежуточного ковша на тележке	550 мм
Скорость порезки сляба	435 мм/мин
Отметка разливочной площадки	+ 9650 мм
Отметка полотна рольганга	+ 1000 мм

Схема компоновки оборудования высокопроизводительной криволинейной МНЛЗ приведена на рис. 3.65.

Технологическая длина МНЛЗ в результате реконструкции уменьшилась почти на восемь метров.

На машине применяются два двухполостных радиальных кристаллизатора со сменной средней вставкой. Длина медных плит уменьшилась с 1200 мм до 950 мм. Для поддержания вытягиваемой из кристаллизатора заготовки на его нижнем торце установлены поддерживающие ролики диаметром 140 мм: один ряд по широким граням заготовки и два ряда по узким граням.

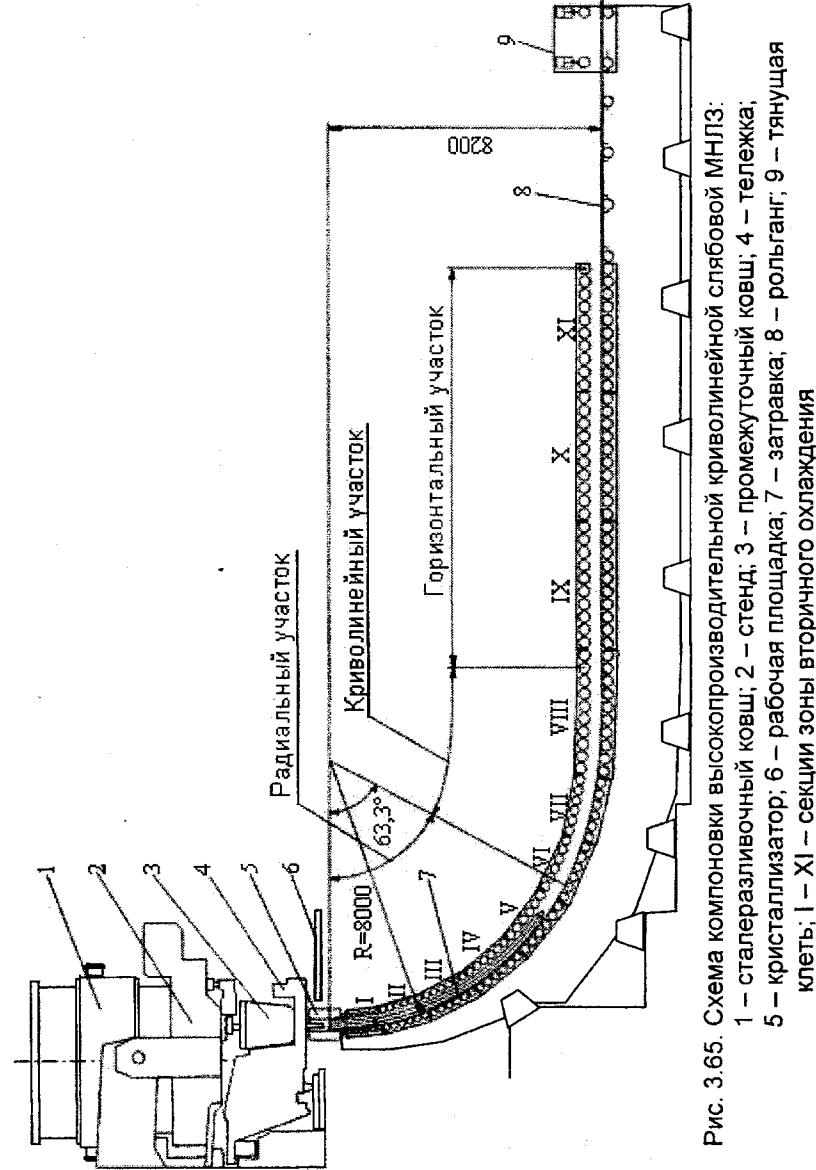


Рис. 3.65. Схема компоновки высокопроизводительной криволинейной слябовой МНЛЗ:
1 – стальразливочный ковш; 2 – стенд; 3 – промежуточный ковш; 4 – тележка;
5 – кристаллизатор; 6 – рабочая площадка; 7 – затворка; 8 – рольганг; 9 – тяущая
клеть; I – XI – секции зоны вторичного охлаждения

Охлаждение роликов производится водяными форсунками зоны вторичного охлаждения сляба. Сборный кристаллизатор состоит из четырёх медных плит. Широкие плиты имеют толщину 70 мм и сверлённые каналы для охлаждающей воды. Ширина узких плит составляет 50 мм, в которых выполнены щелевые каналы для охлаждающей воды. Кристаллизаторы имеют раздельные подводы и отводы воды к широким и узким стенкам. Вода отдельно подводится к узким (параллельно) стенкам и параллельно к широким стенкам. Каждая пара широких стенок охлаждается последовательно. Расход воды при её скорости 6 м/с на широкие стенки равен около 480 м³/ч и около 140 м³/ч – на узкие стенки.

Ниже кристаллизатора с закреплёнными на его раме роликами расположены 11 роликовых секций со следующими характеристиками:

Номер секции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Количество роликов, шт.	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10
Диаметр ролика, мм	140	200	220	240	270	270	270	330	330	330	330
Шаг между роликами (по R), мм	180	245	265	290	323	323	323	390	390	390	390
Количество приводных роликов, шт.	–	–	3	4	4	3	3	5	4	5	4

Общая протяжённость зоны вторичного охлаждения МНЛЗ равняется 17982 мм. Вся зона по широким граням заготовки делится на семь зон охлаждения длиной 281, 900, 1446, 3042, 3841, 3972 и 4680 мм. В первых двух зонах охлаждение производится водой через плоскофакельные форсунки, а в остальных зонах – водовоздушной смесью через форсунки специальной конструкции. По узким граням заготовки имеется только одна зона с водовоздушным охлаждением непосредственно под кристаллизатором длиной 1080 мм.

За последней роликовой секцией зоны вторичного охлаждения машины находится рольганг для транспортирования сляба или затравки до тянувшей клети. Рольганг состоит из четырёх приводных роликов диаметром 330 мм, расположенных с шагом 700 мм.

Тянутая клеть предназначена для вытягивания заготовки из кристаллизатора при возникновении нестандартных ситуаций. Она состоит из двух нижних стационарных приводных роликов и двух верхних качающихся приводных роликов. Все ролики имеют диаметр 330 мм. Клеть обслуживает сразу два ручья машины.

МНЛЗ оснащена двумя машинами газовой резки слябов на мерные части.

Данная машина относится к новому поколению автоматизированных МНЛЗ. Автоматизированная система управления такой машины достаточно подробно описана в предыдущей главе. После реконструкции производительность МНЛЗ возросла в 2,4 раза по сравнению с проектной производительностью базовой комбинированной машины.

4.1.3. Техническая характеристика криволинейной МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором

Криволинейная МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором в двухручьевом варианте была построена в результате реконструкции комбинированной машины, которая подробно рассмотрена в разделе 4.1.1.

Реконструированная МНЛЗ характеризуется следующими параметрами:

Тип МНЛЗ	Криволинейная с вертикальным кристаллизатором, с многоточечным загибом и выпрямлением заготовки
Количество ручьёв	2 шт.
Годовая проектная производительность	до 2 млн. т слябов
Размеры отливаемых слябов:	
толщина	250 мм
ширина	1250...2350 мм
длина	4800...12000 мм
Скорость вытягивания (по механизмам)	0,2...2,0 м/мин
Технологическая длина машины (от верха меди кристаллизатора до оси последнего ролика)	31685 мм
Длина вертикального участка	2840 мм
Длина участка загиба заготовки	1799 мм
Длина дугового участка машины	8326 мм
Длина участка выпрямления заготовки	6630 мм

Длина горизонтального участка машины	12090 мм
Радиус кривизны базовой стенки кристаллизатора (по большему радиусу)	8000 мм
Вместимость сталеразливочного ковша:	
номинальная	175 т
максимальная	200 т
Высота подъема сталеразливочного ковша	500 мм
Вместимость промежуточного ковша	48,2 т
Рабочий уровень металла в промежуточном ковше	1200 мм
Высота подъема промежуточного ковша на тележке	550 мм
Длина медных стенок кристаллизатора	900 мм
Частота качаний кристаллизатора	до 250 кач./мин
Амплитуда качания кристаллизатора	4 мм
Скорость порезки сляба	435 мм/мин
Затравка	Гибкая цепная с пневматическим разжимом
Отметка разливочной площадки	+ 13026 мм
Отметка полотна рольганга	+ 1000 мм

Технологическая длина рассматриваемой машины уменьшилась по сравнению с базовой на величину около четырёх метров, а рабочая площадка поднялась почти на три с половиной метра.

МНЛЗ оборудована сталеразливочным стендом, конструкция которого отличается от ранее рассмотренных. Стенд поворотного типа является двухпозиционным с независимым подъёмом сталеразливочных ковшей (рис. 3.66).

Резервная и рабочая позиции сталеразливочного ковша расположены под прямым углом друг к другу. Ковш с металлом краном устанавливается на стенд в резервную позицию, после чего стенд поворачивается на угол 90° и ковш оказывается в рабочей позиции. При этом оба шиберных затвора сталеразливочного ковша располагаются вдоль оси промежуточного ковша, что позволяет осуществлять разливку стали как поочередно через любой шибер, так и одновременно через оба шибера. Стенд имеет раму, закреплённую на фундаменте. На раму опираются стойка из двух половинок, стянутых шпильками, и два устройства для индивидуального подъёма ковшей.

К стойке присоединены нижние и верхние рычаги, обра-

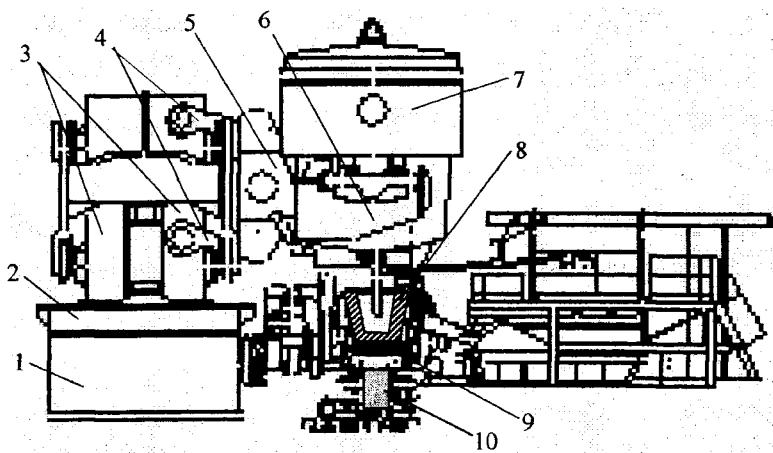


Рис. 3.66. Схема размещения сталеразливочного ковша в рабочей позиции для разливки стали:

- 1 – фундамент поворотного стенда;
- 2 – рама;
- 3 – половинки стойки;
- 4 – верхний и нижний рычаги;
- 5 – траверса;
- 6 – установочные рычаги;
- 7 – сталеразливочный ковш;
- 8 – промежуточный ковш;
- 9 – тележка промежуточного ковша;
- 10 – кристаллизатор

зующие параллелограммный механизм. На рычагах этого механизма шарнирно закреплены установочные рычаги – верхний и нижний в сборе для установки на них сталеразливочных ковшей. Они выполнены в виде пары сварно-кованных боковин, соединенных траверсой. Верхний и нижний рычаги в сборе снабжены весовыми датчиками. Рычаги могут подниматься и опускаться с помощью гидроцилиндров. Стенд оснащен двумя электроприводами для его поворота.

На МНЛЗ используется промежуточный ковш повышенной вместимости. Номинальная вместимость ковша при уровне металла 1200 мм равняется 48,2 т, что составляет 27,5 % от номинальной вместимости сталеразливочного ковша, равной 175 т. Это позволяет увеличить продолжительность пребывания металла в промежуточном ковше и улучшить условия для удаления неметаллических включений. Центровка погружного стакана отно-

сительно оси кристаллизатора обеспечивается с точностью ± 5 мм.

Сборный кристаллизатор кассетного типа имеет медные плиты высотой 900 мм с каналами для охлаждающей воды. Осуществлён независимый подвод воды к каждой стенке кристаллизатора. Суммарный расход воды на кристаллизатор при скорости движения воды 8 м/с составляет $650 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вертикальные стенки кристаллизатора обеспечивают равномерное соприкосновение затвердевающей оболочки заготовки с медными плитами. Это позволяет иметь равномерный теплоотвод и прирост корочки заготовки, что, в свою очередь, способствует улучшению качества её поверхности и снижению опасности аварийных прорывов жидкого металла. Механизм качания кристаллизатора имеет гидравлический привод, обеспечивающий динамическое регулирование параметров режима качания в процессе разливки. На одной раме с кристаллизатором находятся ролики диаметром 140 мм, поддерживающие заготовку со всех четырёх сторон на выходе из кристаллизатора. Уровень металла в кристаллизаторе автоматически стабилизируется с точностью ± 2 мм.

Схема компоновки оборудования ручья МНЛЗ приведена на рис. 3.67.

Технологический канал машины условно можно разделить на несколько участков:

- вертикальный участок,
- участок загиба заготовки,
- участок, выполненный по дуге окружности,
- участок выпрямления заготовки,
- горизонтальный участок МНЛЗ.

Наличие вертикального участка МНЛЗ, состоящего из прямолинейного кристаллизатора и верхней части поддерживающей роликовой проводки, создаёт благоприятные условия для всплытия неметаллических включений из жидкой лунки заготовки и ассимиляции их шлаком. Это позволяет уменьшить загрязнённость отливаемого металла неметаллическими включениями.

Загиб и выпрямление отливаемой заготовки осуществляется по определенной плавной кривой, позволяющей минимизировать относительные деформации на фронте кристаллизации за счёт их равномерного распределения по длине деформируемого участка.

Под кристаллизатором располагаются роликовая проводка из 11 секций и зоны загиба заготовки. Роликовая проводка имеет

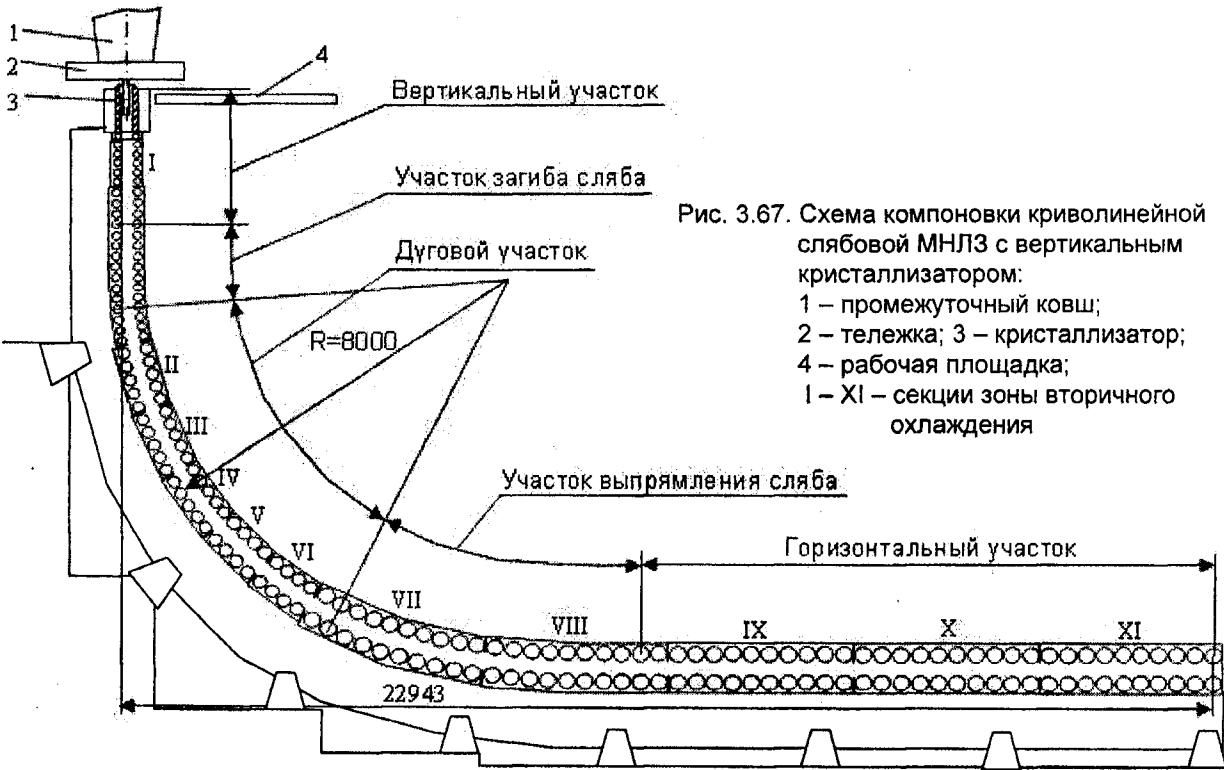


Рис. 3.67. Схема компоновки криволинейной слябовой МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором:

- 1 – промежуточный ковш;
- 2 – тележка;
- 3 – кристаллизатор;
- 4 – рабочая площадка;
- I – XI – секции зоны вторичного охлаждения

следующие характеристики:

Номер секции	I	Зона загиба	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Коли- чество роликов, шт.	5	15	5	5	5	4	4	10	10	10	10	10
Диаметр ролика, мм	155	180	240	240	240	270	270	330	330	330	330	330
Коли- чество приводных роликов, шт.	-	-	2	2	2	2	2	5	5	4	4	5

Равномерное расположение приводных роликов по роликовой зоне в совокупности с системой управления электроприводами обеспечивает минимизацию нагрузок на слиток, возникающих при вытягивании заготовки из кристаллизатора.

Общая протяженность зоны вторичного охлаждения заготовки составляет 19085мм. Для обеспечения требуемой интенсивности охлаждения непрерывнолитой заготовки вторичное охлаждение разбито на девять зон длиной 295, 760, 1560, 1794, 1420, 2899, 2556, 3121 и 4680 мм по широким граням заготовки и одну торцевую зону длиной 1300 мм. Количество зон, одновременно включаемых в работу, зависит от размеров поперечного сечения заготовки, скорости её вытягивания из кристаллизатора и марки разливаемой стали.

Главной отличительной особенностью зоны вторичного охлаждения рассматриваемой МНЛЗ является то, что в ней отсутствует водяное охлаждение заготовки и используется только способ водовоздушного охлаждения. Замена водяного охлаждения сляба под кристаллизатором на водовоздушное позволяет производить регулирование интенсивности охлаждения в более широком диапазоне. Такая замена стала возможной благодаря применению роликов с внутренним водяным охлаждением на раме кристаллизатора, в первой секции и в зоне загиба заготовки.

Вода и воздух в зону вторичного охлаждения подаются по раздельным коллекторам. Водовоздушная смесь образуется с

узле смешения непосредственно перед форсунками при поступлении туда охладителей под углом 90° . Распыление смеси производится при помощи плоскофакельных и круглофакельных форсунок, схема которых представлена на рис. 3.68.

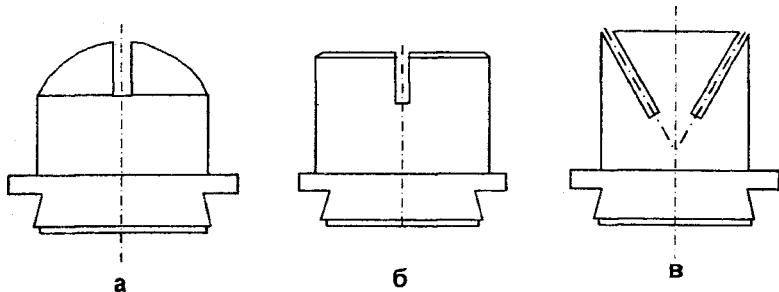


Рис. 3.68. Схемы водовоздушных форсунок:
плоскофакельных – с углом раскрытия факела
 100° (а) и 130° (б);
круглофакельной с углом раскрытия 60° (в)

Плоскофакельные форсунки образуют факел с углом раскрытия 100 и 130° , а круглофакельные – с углом 60° . Для охлаждения широких граней заготовки во всех зонах используется горизонтальное многорядное расположение плоскофакельных форсунок. Узкие грани заготовки в зоне подбоя – с каждой стороны от подвесного под кристаллизатором ролика, охлаждаются двумя плоскофакельными форсунками, а в нижерасположенной зоне охлаждения – круглофакельными форсунками по одной в ряд.

Выбранная схема расстановки форсунок в зоне вторичного охлаждения по большому и малому радиусам позволяет с минимальным количеством перестановок коллекторов реализовывать охлаждение заготовок всего марочного и размерного сортамента.

На МНЛЗ используется динамическая система водовоздушного охлаждения заготовки в зоне вторичного охлаждения. Она позволяет осуществлять регулирование интенсивности орошения поверхности заготовки, обеспечивающее плавное снижение её температуры поверхности по длине зоны вторичного охлаждения в стационарном и переходных режимах.

Машина оснащена современной автоматизированной системой управления технологическим процессом разливки стали.

4.2. Особенности компоновки узлов сортовой МНЛЗ

Сортовая МНЛЗ фирмы "VAI" имеет следующую техническую характеристику:

Тип машины	Радиальная
Количество ручьёв	5 шт.
Годовая производительность	1 млн. т заготовки
Базовый радиус	9000 мм
Вместимость сталеразливочного ковша	175 т
Вместимость промежуточного ковша	26...28 т
Расстояние между центрами ручьёв	1250 мм
Размеры поперечного сечения отливаемых заготовок	100×100, 124×124, 120×150, 150×150, 152×170 мм
Длина отливаемых заготовок	3500...12000 мм
Скорость вытягивания заготовок из кристаллизатора:	
100×100 мм	не более 5,6 м/мин
124×124 мм	не более 4,4 м/мин
120×150 мм	не более 3,6 м/мин
150×150 мм	не более 3,0 м/мин
152×170 мм	не более 2,7 м/мин
Кристаллизатор:	
– длина	Гильзовый,
– толщина хромового покрытия	многоконусный
– контроль уровня металла	"Diamold"
– расход охлаждающей воды	900 мм 0,1 мм
Механизм качания:	автоматический 72...138 м ³ /ч
– амплитуда	Гидравлический
– частота	"Динафлекс" до 9 мм 30...300 кач./мин

Затравка	Жёсткая недеформируемая
Зона вторичного охлаждения:	Четыре участка
– первый участок (между роликами под кристаллизатором)	водяное охлаждение
– остальные три участка	водовоздушное охлаждение
– длина ЗВО	9800 мм
Тянуще-правильное устройство	Клеть с 5 роликами
Порезка заготовок на мерные части	Машины газовой резки
Охлаждение заготовок	Кантующий холодильник

Схема компоновки оборудования сортовой МНЛЗ приведена на рис. 3.69.

МНЛЗ оборудована двумя сталеразливочными стендаами полупортального типа. Каждый откатной стенд имеет одно место для сталеразливочного ковша. Наличие двух стендов позволяет осуществлять разливку стали методом "плавка на плавку". Стенд оснащён устройством для взвешивания сталеразливочного ковша. Перемещение стендса по рельсам на расстояние до 10 м производится при помощи основного и аварийного гидроприводов.

На участке сталеразливочный – промежуточный ковш применяется защитная труба. Позиционирование трубы относительно канала разливочного стакана и её удерживание осуществляется при помощи манипулятора. Для обеспечения необходимого усилия прижатия защитной трубы используется противовес.

Тележка промежуточного ковша полупортального типа имеет гидравлический привод перемещения, поднятия и юстировки ковша, устройство для его взвешивания.

Вес промежуточного ковша Т-образной формы без футеровки составляет около 14 т, с футеровкой – около 26 т. Номинальный уровень жидкого металла в ковше равен 700 мм, максимальный – 800 мм. В ковше установлено пять разливочных стаканов. Регулирование подачи металла из ковша в кристаллизаторы зависит от способа разливки стали.

При разливке открытой струёй в качестве дозирующих элементов металлической проводки применяются постоянные верхние и сменные нижние циркониевые стаканы. Регулирова-

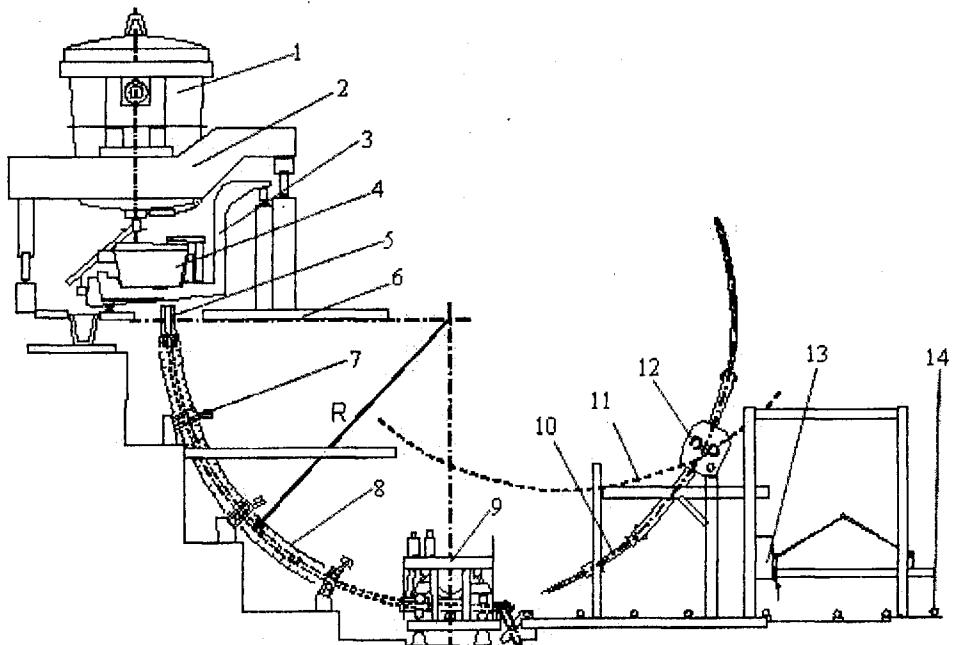


Рис. 3.69. Схема компоновки узлов сортовой МНЛЗ:
 1 – сталеразливочный ковш; 2 – стенд; 3 – тележка; 4 – промежуточный ковш;
 5 – кристаллизатор; 6 – разливочная площадка; 7 – направляющие;
 8 – коллектор ЗВО; 9 – тянуще-правильная клеть; 10 – затравка; 11 – положение
 затравки при её подготовке; 12 – манипулятор; 13 – газовая резка; 14 - ролльганг

ние подачи жидкого металла осуществляется путём смены нижних стаканов, имеющих разный (15...20 мм) диаметр калибранных отверстий. Смена этих стаканов осуществляется при помощи специальных механизмов быстрой замены CNC фирмы "Vesuvius".

В режиме разливки закрытой струёй для регулирования подачи металла из промежуточного ковша в кристаллизаторы применяются стопора промежуточного ковша, представляющие собой корундографитовые моноблоки с нижней пробкой из переклазоуглеродистого материала. Жидкий металл поступает в кристаллизаторы под уровень через погружные стаканы с осевыми отверстиями. Разливка закрытой струёй для отливки непрерывнолитых заготовок с размерами поперечного сечения 100×100 мм не предусмотрена.

Радиальный кристаллизатор представляет собой гильзу с внутренней поверхностью параболического профиля. Гильза изготовлена из сплава меди с 0,1 % серебра. Толщина стенки гильзы равняется 15,5 мм. Рабочая поверхность её покрыта хромом толщиной около 0,1 мм. Длина гильзы составляет 900 мм. На одной раме с кристаллизатором сразу под ним крепятся ролики диаметром 100 мм, поддерживающие заготовку со всех четырёх сторон. При отливке заготовок сечением 100×100 мм и 124×124 мм ставится один ряд опорных роликов, а при отливке заготовок прямоугольного сечения – два ряда роликов.

В кристаллизатор охлаждающая вода подаётся в зазор шириной 4 мм между гильзой и опорными пластинами. Расход воды составляет до 138 м³/ч. Температура воды на входе в кристаллизатор не превышает 40 °С, а величина нагрева – не более 12 °С. Поддерживающие ролики охлаждаются форсунками системы вторичного охлаждения заготовки.

Кристаллизатор оснащён радиометрической системой контроля уровня жидкого металла. В неё входят проволочный датчик Со60 со стороны малого радиуса и счётчик вспышек со стороны большого радиуса. Высота измеряемого участка изменяется в диапазоне 204...210 мм в зависимости от толщины отливаемой заготовки. Информация об изменении уровня металла используется для соответствующего изменения скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора путём автоматизированного управления приводом тянуще-правильной клети машины.

При разливке открытой струёй для смазки в кристаллизатор через кольцевой зазор подаётся растительное (рафиниро-

ванное рапсовое) или синтетическое масло фирм "Mobil" или "Shell". В режиме разливки закрытой струёй роль смазки в кристаллизаторе выполняет шлакообразующая смесь.

Кристаллизатор МНЛЗ имеет устройство электромагнитного перемешивания стали фирмы "ABB Automation Systems". Это устройство представляет собой укороченную катушку, расположенную с внешней стороны нижней части кристаллизатора. Частота питающего тока равна 3...5 Гц. Напряжение составляет 500 В, а средняя сила тока – 500 А. Устройство обладает кажущейся мощностью 433 кВА.

Механизм качания кристаллизатора имеет гидравлический привод. Параметры качания кристаллизатора могут регулироваться автоматически в процессе разливки в зависимости от скорости вытягивания заготовки: частота качания – в интервале от 30 до 300 кач./мин, амплитуда перемещения – от 0 до 9 мм.

Жёсткая недеформируемая затравка состоит из скреплённых болтами сегментов и съёмной головки. Она имеет радиус кривизны, соответствующий базовому радиусу МНЛЗ и равный 9000 мм. Длина затравки составляет около 14100 мм. Отделение затравки от заготовки производится при помощи опускающегося заднего верхнего ролика тянуще-правильной клети. При этом затравка опирается на нижний ролик, поднимающийся над рольгантом в позицию автоматического отделения затравки. Отделённая затравка поступает в приёмное устройство с направляющими и тянущими роликами. Поворотное устройство с помощью гидравлического цилиндра перемещает приёмное устройство вместе с затравкой в позицию её подготовки и хранения. Перед началом разливки поворотное устройство устанавливает затравку в позицию ввода перед тянуще-правильной клетью.

Ниже кристаллизатора для направления и поддерживания заготовки располагается направляющее устройство. Оно состоит из трёх отдельных роликовых блоков. В каждый блок входит два ролика диаметром 160 мм. Ролик внешней дуги закреплён стационарно. Он подключён к системе централизованной смазки и имеет внутреннее водяное охлаждение. Ролик внутренней дуги прижимается к заготовке с помощью противовеса и не смазывается. Его охлаждение производится системой вторичного охлаждения заготовки.

Зона вторичного охлаждения заготовки имеет общую протяжённость 9770 мм. Она включает в себя четыре зоны со следующей характеристикой:

Зона	I	II	III	IV
Длина, мм	340	2360	3460	3610
Количество форсунок, шт.	12	24	20	20

В первой зоне – от низа кристаллизатора до последнего ряда поддерживающих роликов, применяется водяное охлаждение, а во всех остальных – водовоздушное охлаждение. Коллекторы системы вторичного охлаждения крепятся на роликовых блоках. Для охлаждения поверхности заготовки используется система оросительного охлаждения. При помощи замкнутой системы охлаждаются направляющие ролики внешней дуги, ролики тянуще-правильной клети, ролики рольганга и машины газовой резки.

Тянуще-правильная клеть имеет три нижних стационарно установленных ролика и два верхних прижимных ролика диаметром 350 мм. Прижим роликов осуществляется с помощью гидроцилиндров. Передние верхний и нижний ролики являются приводными. Охлаждение роликов производится через внутренние каналы. Для охлаждения клети предназначен водоохлаждаемый тоннель. Задний верхний ролик может опускаться для отделения затравки от заготовки.

После тянуще-правильной клети выпрямленная заготовка поступает на рольганг из пяти роликов диаметром 270 мм. Над пятым роликом расположен верхний приводной ролик, который может перемещаться вверх-вниз, для вытягивания заготовки из тянуще-правильной клети и транспортировки на отводящий рольганг.

На каждом ручье МНЛЗ для разделения заготовки на мерные части имеется машина газовой резки. Она состоит из одной навесной горелки с электромеханическим приводом маятникового типа, пневматического зажимного устройства, ролика для измерения длины, грануляционного оборудования и оборудования для охлаждения. Максимальная длина перемещения горелки составляет 3000 мм. Сбор и удаление шлама, окалины и обрези производится в желоба из нержавеющей стали и сварные бадьи.

Разрезанные заготовки последовательно поступают на отводящий рольганг и поперечный передаточный рольганг. С поперечного передаточного рольганга заготовки поднимаются при помощи рычагов с гидравлическим приводом на поперечное передаточное устройство. Далее заготовки перемещаются перпендикулярно направлению их вытягивания на наклонный отрезок

перед холодильником. Кантующий холодильник служит для последующей транспортировки заготовок. При этом заготовки квадратного сечения дополнительно поворачиваются вокруг своей продольной оси в процесс передвижения с целью обеспечения равномерного охлаждения. Заготовки из флокено- и трещиночувствительного металла должны сниматься с участка перед кантующим холодильником и помещаться в специальные теплоизолирующие термосы при помощи крана.

Сортовая МНЛЗ оснащена современной автоматизированной системой управления технологическим процессом разливки стали. Эта система позволяет осуществлять разливку в автоматизированном режиме с предоставлением полной информации в удобном интерфейсе и выдачей предупреждающих сигналов в случае возникновения аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок является заключительной стадией сталеплавильного производства, во многом определяющим качество получаемой продукции. При непрерывной разливке стали методом "плавка на плавку" обеспечивается выход годного металла на уровне 96...98 %. Доля разливаемого непрерывным способом металла в ведущих промышленных странах приближается к 100 %.

В данной работе кратко освещена история развития непрерывной разливки стали, приведена классификация машин непрерывного литья стальных заготовок, рассмотрена их планировка в отделении непрерывной разливки стали сталеплавильных цехов, проанализирована информация о конструкции основных элементов и технологических узлов МНЛЗ.

Непрерывная разливка стали осуществляется на МНЛЗ различной конструкции. При всём разнообразии известных конструкций МНЛЗ в действующих цехах предпочтение отдаётся всего нескольким типам машин. В современных цехах металлургических предприятий непрерывная разливка стали в основном производится на МНЛЗ криволинейного и радиального типов. В работе рассмотрены компоновка оборудования и особенности устройства криволинейных машин главного отечественного их производителя – ООО "Уралмаш – Метоборудование" и радиальной машины производства известной зарубежной фирмы "VAI".

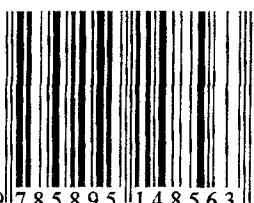
Конструкция и оборудование МНЛЗ постоянно совершенствуются. Основными направлениями развития промышленных МНЛЗ является повышение их производительности и уровня автоматизации управления процессом разливки стали. Такой уровень должен обеспечивать участие персонала в технологическом процессе преимущественно в форме контролирующих функций. Это относится как к стабилизированному процессу разливки, так и к наиболее сложным периодам – переходным процессам, начальной и конечной стадиям разливки. Решение этих задач позволит при минимальных затратах высоконтеллектуального труда получать стальные непрерывнолитые заготовки самого высокого качества.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавильного производства / В.П. Григорьев, Ю.М. Нечкин, А.В. Егоров, Л.Е. Никольский. – М.: МИСИС, 1995. – 512 с.
2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали – М.: Мир, 2003. – 528 с.
3. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. – М.: Металлургия, 1991. – С. 272.
4. Разливка стали / В.И. Балтизманский, Е.И. Исаев, В.С. Коновалов и др. Киев – Донецк: гол. изд. ИО “Вища школа”, 1977. – 200 с.
5. Непрерывная разливка стали на радиальных установках / В.Т. Сладкоштеев, Р.В. Потанин, О.Н. Суладзе, В.С. Рутес. – М.: Металлургия, 1974. – 288 с.
6. Непрерывная разливка стали в сортовые заготовки / В.С. Рутес, Н.Н. Гуглин, Д.П. Евтеев и др. – М.: Металлургия, 1967. – 144 с.
7. Попандопуло И.К., Михневич Ю.Ф. Непрерывная разливка стали – М.: Металлургия, 1990. – 296 с.
8. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчёт / Л.В. Буланов, Л.Г. Корзунин, Е.П. Парфёнов и др. – Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2003. – 320 с.

Св.темплан 2007, поз. 114

ISBN 978-5-89514-856-3



9 785895 148563

Заявки на книгу присыпать по адресу:
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ГОУ ВПО «МГТУ»,
кафедра МЧМ
Тел.: (3519) 29-84-30; факс: 23-57-60

Александр Михайлович Столяров
Валентин Николаевич Селиванов

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ

Часть первая

КОНСТРУКЦИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МНЛЗ

Учебное пособие

Издаётся полностью в авторской редакции

Подписано в печать 8.05.07. Формат 60x84 1/16.

Плоская печать. Усл.печ.л.9,75. Уч.-изд.л.10,24.

Заказ 293.

Бумага тип.№ 1.

Тираж 100 экз.



Издательский центр ГОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ГОУ ВПО «МГТУ»