

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»

Новотроицкий филиал МИСиС

А.В. Нефедов

Н.А. Чиченев

И.А. Шур

Машины и агрегаты непрерывного литья заготовок

Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области металлургии
в качестве учебника

Новотроицк, 2014

УДК 669.2

Рецензенты:

Абрамова Н.Б., *зав. кафедрой технологии машиностроения Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ, к.т.н, доцент;*

Шумовский К.В., *директор по ремонту ОАО «Уральская Сталь».*

Нефедов, А.В.

Машины и агрегаты непрерывного литья заготовок : учебник для вузов / А. В. Нефедов, Н. А. Чиченев, И.А. Шур, –Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2014. – 116 с.- ISBN 978-5-903472-15-4

Рассмотрены машины и агрегаты, составляющие механическое оборудование одного из основных металлургических переделов – производство непрерывно-литых заготовок из цветных и черных металлов. Изложены принципы действия и области применения, приведены конструкции и основы расчета машин непрерывного литья заготовок.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование» и направлениям подготовки бакалавров 150400 «Металлургия» и 151000 «Технологические машины и оборудование».

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС».

ISBN 978-5-903472-15-4

© ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Новотроицкий филиал, 2014

© А.В. Нефедов, Н.А. Чиченев, И.А. Шур, 2014

Оглавление

Предисловие	4
Введение	5
Условные обозначения	8
1. Классификация машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)	10
2. Основы технологии непрерывного литья	14
3. Вертикальные МНЛЗ	19
4. Горизонтальные МНЛЗ	26
5. Радиальные МНЛЗ	32
6. Управление и производительность МНЛЗ	47
7. Кристаллизаторы машин непрерывного литья	49
8. Механизмы качания кристаллизаторов	55
9. Роликовые проводки МНЛЗ	60
10. Расчет мощности электроприводов роликовых проводок	70
11. Системы вторичного охлаждения	77
12. Затравки и механизмы их перемещения	83
13. Машины для разрезки заготовок	88
14. МНЛЗ для совмещения процессов литья и прокатки	90
14.1. Тонкослябовые МНЛЗ	90
14.2. Полосовые МНЛЗ	92
14.3. Тонколистовые (валковые) МНЛЗ	97
14.4. ЛПА для производства катанки	103
Контрольные вопросы	106
Заключение	112
Библиографический список	113

Предисловие

Развитие экономики России требует повышения уровня производства металлов при одновременном улучшении их качества. Успешное решение этой проблемы во многом зависит от эффективных технологий металлургического производства и применяемого для их осуществления механического оборудования. Поэтому подготовка специалистов в области металлургических машин и оборудования является стратегически важной задачей, необходимой для обеспечения национальной безопасности страны.

Дисциплина «Машины и агрегаты непрерывного литья заготовок» является второй частью курса «Машины и агрегаты металлургического производства» и изучается в цикле специальных (профильных) дисциплин. Его целью является ознакомление студентов с принципом действия и конструктивными особенностями узлов, механизмов, машин и агрегатов металлургических предприятий, обучение методике расчета и проектирования типовых систем и модулей технологических машин и агрегатов металлургического производства.

Данный учебник охватывает широкий комплекс вопросов, связанных с конструкциями и расчетами механического оборудования для подготовки шихтовых материалов.

Учебник написан на основе курса лекций, которые более 10 лет читаются авторами в Новотроицком филиале Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» для студентов, обучающихся по специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование» и направлениям подготовки бакалавров 150400 «Металлургия» и 151000 «Технологические машины и оборудование».

Введение

Процесс непрерывного литья заготовок, называемый также непрерывной разливкой, относится к одному из самых крупных достижений металлургии XX века, которое коренным образом изменило технологию производства металлов и сплавов. Идея получения металлического проката непосредственно из жидкого металла была впервые выдвинута Г. Бессемером в 1857 г. Однако эта идея, как и многие другие изобретения и разработки в этой области могли быть реализованы только спустя столетие.

Принцип непрерывного литья заключается в том, что жидкую сталь из ковша заливают в интенсивно охлаждаемую сквозную форму с неподвижными или подвижными стенками прямоугольного, квадратного или круглого сечения, которая называется кристаллизатором.

В кристаллизаторе происходит частичное затвердевание слитка: по его периметру формируется твердая оболочка (корочка), внутри которой находится жидкая фаза. На выходе из кристаллизатора оболочка должна выдерживать статическое давление жидкой фазы слитка. Полное затвердевание слитка происходит при его вытягивании роликами из кристаллизатора на участке так называемого вторичного охлаждения.

Непрерывность процесса литья обеспечивается постоянной подачей металла в кристаллизатор при непрерывном удалении из него затвердевающего слитка.

Важным технологическим новшеством, позволившим избежать прилипания заготовки к стенкам кристаллизатора и увеличить скорость разливки, стало внедрение механизма качания кристаллизатора.

Впервые процесс непрерывного литья заготовок в промышленном масштабе начали применять для алюминия и его сплавов, а затем для меди и позднее для стали. Первая установка полунепрерывного литья заготовок круглого сечения из алюминиевых сплавов диаметром 170...370 мм была создана в годы Великой Отечественной войны на Верхне-Салдинском

металлообрабатывающем заводе. Качество заготовок, получаемых на этой установке, было столь высоким, что в течение полутора лет на всех металлургических заводах Советского Союза литье слитков из алюминиевых сплавов было полностью переведено на этот метод.

Для стали начало промышленного применения непрерывного литья также положили машины непрерывного литья заготовок вертикального типа с высотой жидкой фазы 15...25 м, что требовало сооружения глубоких колодцев или зданий башенного типа.

Этот недостаток удалось устранить, расположив зону кристаллизации на дуге окружности с последующим выпрямлением слитка при выходе на горизонтальную плоскость. Первая наиболее крупная в мировой практике МНЛЗ этой системы была создана ВНИИМЕТМАШем и Уралмашзаводом и пущена в эксплуатацию в 1965 г. на Руставском металлургическом заводе. На ней успешно было освоено литье слябов шириной 900 мм и толщиной 180 мм в 2 ручья из ковша емкостью 200 т. К началу XXI века в мире действовали более 1700 МНЛЗ.

Когда объем производства заготовок относительно невелик, масса плавки ограничена или требуются слитки с большим поперечным сечением, процесс непрерывного литья ведется с прерыванием после получения заготовки конечной длины. Такой процесс получил название полунепрерывного литья, хотя на установившейся стадии, по существу, это непрерывный процесс.

Имеется несколько названий машин для разлива металла непрерывным способом: наиболее общее название – машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), в сталеплавильном производстве – установки непрерывной разлива стали (УНРС), в цветной металлургии – машины непрерывного литья и литейные машины.

Основные преимущества непрерывного литья:

- повышение качества заготовок за счет высокой скорости охлаждения при кристаллизации, что улучшает структуру слитка, уменьшает количество и глубину поверхностных дефектов;

- отсутствие изложниц и сопутствующего оборудования;
- существенное сокращение цикла металлургического производства за счет устранения обжимных станов (блюмингов и слябингов);
- снижение затрат электроэнергии;
- увеличение выхода годной продукции за счет уменьшения потерь металла на обрезь, литники и другие отходы;
- приспособленность процесса к автоматизации.

Эффективность процесса непрерывного литья еще более возрастает при объединении процесса литья с прокаткой в одном агрегате. При такой технологии удастся использовать первичную теплоту слитка для его деформации, исключить промежуточный склад металла и достичь полной непрерывности в процессах литья и прокатки, что обеспечивает резкое повышение производительности.

Условные обозначения

a	амплитуда
A	площадь
B, b	Ширина
D, d	диаметр
e	прогиб
E	модуль упругости материала при сжатии
f	коэффициент трения материала по щеке
F	сила
g	ускорение свободного падения
G	вес, сила тяжести
H, h	высота, толщина
K, k	коэффициент (общее обозначение)
L, l	длина
M, m	масса
M	момент
n	Частота вращения
p	давление
P	мощность
R, r	радиус
S	Перемещение, ход
t	шаг роликов
T	время
V	объем
U	скорость литья
W	работа
Z	количество (роликов, зубьев и др.)
α, β, φ	угол

ε	относительная деформация
μ	коэффициент трения качения
ν	частота колебаний
η	КПД механических передач привода
δ	толщины нарастающей корочки сляба
λ	коэффициент теплопроводности
ω	частотой вращения
P	Производительность
ρ	плотность (объемная масса)
δ_s	предел прочности материала на сжатие

1. Классификация машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)

Для разливки стали применяют в основном установки с вытягиванием формирующегося слитка из кристаллизатора, при котором происходит скольжение слитка по стенкам кристаллизатора (кристаллизатор скольжения).

Конструкции машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) различаются в зависимости от формы поперечного сечения отливаемых слитков, направления движения заготовок при литье, типа устройств для кристаллизации.

Направление движения заготовки при литье определяет положение основной технологической оси МНЛЗ (рис. 1.1).

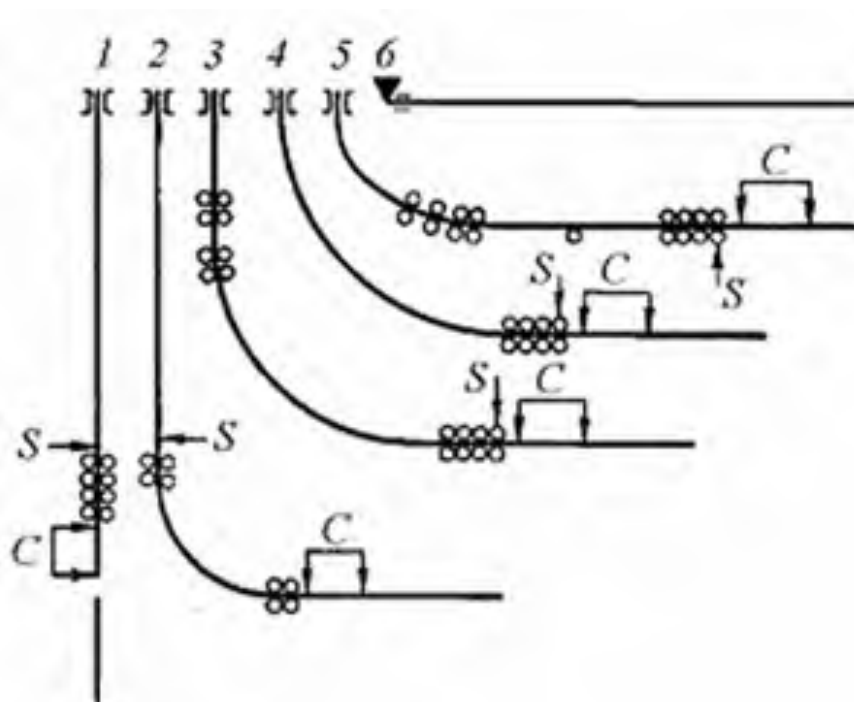


Рис. 1.1. Принципиальные схемы МНЛЗ с вытягиванием слитка из кристаллизатора:

- 1 – вертикальные; 2 – вертикальные с изгибом заготовки; 3 – вертикально-радиальные; 4 – радиальные; 5 – криволинейные; 6 – горизонтальные;
S - конец затвердевания; C – зона порезки заготовки.

Форма поперечного сечения определяет вид получаемой продукции, и МНЛЗ соответственно подразделяются на слябовые, полосовые, блюмовые, сортовые и др.

На слябовых МНЛЗ отливают слитки плоского сечения толщиной 150...300 мм и шириной до 2600 мм. В последние годы начался новый этап развития МНЛЗ, главным направлением которого является отливка тонких слябов толщиной 30...70 мм с целью приближения к толщине готового продукта.

Блюмовые и сортовые МНЛЗ применяют для отливки слитков квадратного сечения размером до 400×400 мм и прямоугольного сечения с отношением ширины к толщине до 1,5...2,0 при толщине до 300 мм, реже применяют МНЛЗ для отливки слитков круглого сечения диаметром до 500 мм. Отливка полых трубных заготовок и заготовок сложного профиля, например, двутаврового находятся в стадии промышленного освоения.

По конструкции применяемых устройств для кристаллизации расплава МНЛЗ можно разделить на два основных вида: с неподвижными стенками кристаллизаторов (кристаллизаторами скольжения) и с подвижными стенками (кристаллизаторами ленточного, валкового и других типов).

В зависимости от количества слитков одновременно отливаемых из одного ковша или миксера, МНЛЗ могут быть одно-, двух- и многоручьевыми. Слябовые МНЛЗ обычно имеют 2 ручья, сортовые и блюмовые - от 3 до 8 ручьев. Разливку ведут до опорожнения ковша или без перерыва из нескольких ковшей (разливка методом «плавка на плавку»).

Внедрение МНЛЗ коренным образом изменило структуру металлургического производства и оказало значительное влияние на развитие технологии прокатки. В частности, применяемые ранее высокие степени деформации для получения необходимых свойств материала оказались излишними. Поэтому следующим шагом к сокращению производственного цикла является получение заготовок с размерами, близкими к конечным размерам полуфабрикатов посредством совмещения процессов непрерывного литья и прокатки.

Основными препятствиями в совмещении указанных процессов при использовании традиционных МНЛЗ являются:

- значительная разница толщины отливаемых заготовок от конечных требуемых размеров готовой продукции (толщина слитка, получаемого на МНЛЗ, в среднем, равна 200 мм против необходимой толщины листа 1...3 мм);
- несоответствие наибольшей скорости литья и требуемой скорости начала прокатки (1...2 м/мин против 3...5 м/с на станах горячей прокатки);
- проблема сохранения температуры медленно движущегося слитка;
- несоответствие производительности МНЛЗ и непрерывного прокатного стана.

Стремление увеличить производительность традиционных МНЛЗ за счет повышения скорости разливки ограничено длительностью периода затвердевания слитка, что приводит к большой протяженности участка вторичного охлаждения и значительно увеличивает затраты на оборудование.

Идея совмещения непрерывной разливки и горячей прокатки в единой технологической линии основывается на уменьшении толщины отливаемого слитка или полосы и увеличения за этот счет скорости литья (рис. 1.2).

Способы получения заготовок толщиной, близкой к конечной толщине полосы, принято разделять на следующие группы:

- разливка на тонкие слябы толщиной 30...80 мм, которая исключает прокатку в черновых клетях, оставляя прокатку только в чистовой линии прокатного стана (тонкослябовые МНЛЗ);
- разливка на заготовки толщиной 15...20 мм в сочетании с прокаткой в одной-двух чистовых клетях для получения полос, пригодных для холодной прокатки (полосовые МНЛЗ);
- разливка на тонкие полосы толщиной 1...6 мм для непосредственного получения рулонов горячекатаной полосы (тонколистовые МНЛЗ).

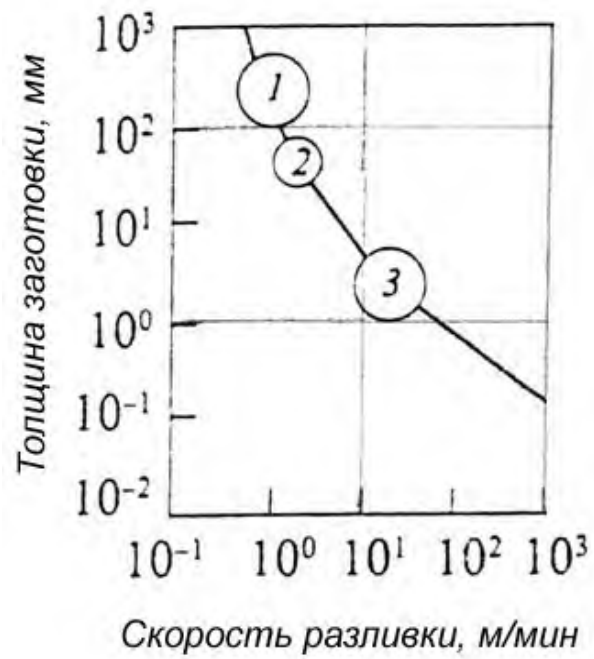


Рис. 1.2. Зависимость толщины отливаемой плоской заготовки от скорости непрерывной разливки:
 1 – слябы; 2 – тонкие слябы; 3 – полосы.

2. Основы технологии непрерывного литья

Внедрение МНЛЗ значительно сократило цикл металлургического производства за счет объединения в одном агрегате таких узлов, как водоохлаждаемый кристаллизатор для формирования оболочки слитка, поддерживающие роликовые проводки с системой вторичного охлаждения затвердевающего слитка, тянущее устройство, механизмы для разделения и транспортировки слитков (рис. 2.1).

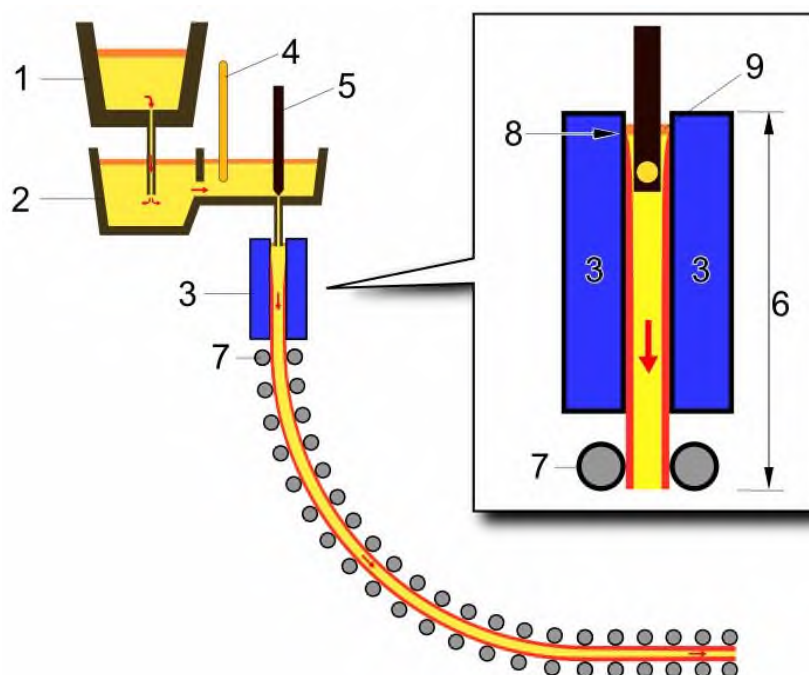


Рис. 2.1. Схема установки непрерывного литья:

1 - ковш подачи жидкого металла, 2 - промежуточный ковш, 3 - кристаллизатор, 4 - заслонка, 5 - стопор, 6 - зона кристаллизации, 7 - тянущие ролики, 8 - зона начала кристаллизации, 9 - подача охлаждающей воды.

МНЛЗ для получения стальных заготовок включает сталеразливочный 1 и промежуточный 2 ковши, водоохлаждаемый кристаллизатор 3, систему вторичного охлаждения, устройства для вытягивания заготовки из кристаллизатора, оборудование для резки и перемещения слитка.

После выпуска металла из сталеплавильного агрегата, доводки сплава по химическому составу и температуре на агрегате ковш-печь (АКП) сталеразливочный ковш перемещается литейным краном на поворотный стенд МНЛЗ. Поворотный стенд - вращающаяся конструкция с двумя позициями для установки ковшей. В процессе разливки жидкий металл из сталеразливочного ковша поступает в промежуточный ковш, после окончания разливки стенд поворачивается на 180° и второй, ранее установленный ковш с жидкой сталью переводится в позицию разливки в промежуточный ковш. Одновременно опустошенный ковш заменяется новым ковшом, заполненным жидкой сталью. Таким образом, обеспечивается постоянное наличие расплавленного металла в промежуточном ковше.

После открытия шибера ковша 1 жидкий металл начинает поступать в промежуточный ковш 2. Промежуточный ковш является своего рода буфером между сталеразливочным ковшом и кристаллизатором 3. Уровень металла перед стопором разливки регулируется заслонкой 4. После открытия стопора 5 (стопорный механизм позволяет плавно регулировать поток металла в кристаллизатор, поддерживая в нём постоянный уровень) из промежуточного ковша металл поступает в кристаллизатор. Кристаллизатор представляет собой водоохлаждаемую конструкцию, которая совершает вертикальные колебания для предотвращения застывания металла на стенках кристаллизатора и предотвращения образования трещин.

В зависимости от конструкции МНЛЗ размеры кристаллизатора могут варьироваться. В кристаллизаторе происходит застывание стенок формируемого слитка (например, сляба). Далее, под воздействием тянущих роликов 7 слиток попадает в зону вторичного охлаждения (криволинейный участок ручья), где на металл через форсунки разбрызгивается вода.

После выхода непрерывно-литой заготовки на горизонтальный участок ее разрезают на мерные длины (резка кислородным газовым резаком, дисковой пилой или ножницами). Газовый резак и пила работают по «летающему» принципу, - в процессе резания рабочий инструмент

перемещается со скоростью, равной скорости движения заготовки, а после завершения резания - быстро перемещается в исходную позицию для выполнения следующей фазы цикла резания.

Промежуточный ковш (промковш) предназначен для снижения ферростатического давления и динамического напора струи металла из сталеразливочного ковша и стабилизации температуры перед кристаллизатором. Современные конструкции промковшей также дополнительно обеспечивают протекание различных металлургических процессов: отделение и всплытие неметаллических включений, введение в расплав различного рода добавок, модифицирование неметаллических включений кальцием и др. Одновременно промковш обеспечивает непрерывность процесса литья при смене сталеразливочных ковшей и распределяет металл в кристаллизаторы в зависимости от размеров слитка и количества ручьев.

Далее сталь попадает в водоохлаждаемый кристаллизатор, где происходит начальное формирование непрерывного слитка. Перед началом разливки в кристаллизатор вводят так называемую затравку, которая является дном кристаллизатора на начальной стадии разливки.

Сформировавшийся в кристаллизаторе слиток с затвердевшей оболочкой поступает в зону вторичного охлаждения, где осуществляется его дальнейшее охлаждение с помощью водяных или водовоздушных форсунок. Для предохранения слитка от выпучивания в зоне вторичного охлаждения размещаются роликовые проводки, внутри которых движется слиток. Затем слиток проходит через тянущую клеть и после окончательного затвердевания попадает в зону резки.

Принципиальные схемы непрерывной разливки отличаются положением продольной технологической оси затвердевающего слитка МНЛЗ, но основы технологии разливки являются общими для всех типов МНЛЗ.

Жидкая сталь поступает в разливочное отделение при температуре 1560...1580°C, а затем подается в промежуточный ковш, который

предварительно нагревается до температуры 1100°C. Температура стали в проковше обычно поддерживается на уровне 1540...1560°C.

Для обеспечения стабильности процесса разливки температура металла в кристаллизаторе должна быть на 15...20°C выше температуры затвердевания. За счет интенсивного охлаждения в кристаллизаторе по периметру слитка образуется твердая корочка, а внутри слитка по центральной оси сохраняется жидкая фаза. Формирование слитка происходит в соответствии с формой и размерами кристаллизатора. Заливаемая в кристаллизатор сталь сцепляется с затравкой, и образующийся слиток вытягивается из кристаллизатора с помощью тянущих роликов.

Для предотвращения прилипания жидкой стали к стенкам кристаллизатора предусмотрен механизм качания, который обеспечивает в течение всей разливки возвратно-поступательное движение кристаллизатора вдоль отливаемого слитка. При этом движение кристаллизатора вниз происходит с опережением слитка, чтобы не допустить отрыва верхней тонкой части корочки от движущегося слитка вследствие трения о стенки кристаллизатора. С этой же целью в зазор между поверхностью слитка и стенкой кристаллизатора подается специальная смазка.

Толщина затвердевшей корочки на выходе из кристаллизатора должна быть не менее 25...30 мм, чтобы при средней температуре 1300...1350°C обеспечить достаточную механическую прочность вытягиваемой заготовки и исключить возможность прорыва жидкого металла.

Слиток с затвердевшей корочкой, температура поверхности которого на выходе из кристаллизатора составляет 1100...1200°C, поступает в зону вторичного охлаждения, где затвердевает по всему сечению. Форма слитка сохраняется за счет поддерживающей системы, выполненной в виде роликовых проводок. В конце зоны вторичного охлаждения температура поверхности слитка снижается до 800...900°C. В дальнейшем, после прекращения подачи воды, слиток охлаждается на воздухе.

Вытягивание слитка осуществляется с помощью тянущих клетей приводных роликовых проводок, на выходе из которых затвердевший слиток

по горизонтальному рольгангу поступает в зону резки на мерные длины, а затем либо на склад, либо на дальнейшую обработку.

Главными технологическими факторами, обеспечивающими получение слитков высокого качества, являются температура жидкой стали, скорость разливки и режим вторичного охлаждения. При недостаточном нагреве снижается жидкотекучесть стали и затрудняются условия разливки, а значительный перегрев ведет к образованию внутренних трещин и увеличивает осевую усадочную пористость слитка. Скорость разливки определяет производительность МНЛЗ и качество поверхности слитка. Повышение интенсивности охлаждения слитка способствует увеличению скорости разливки, но ограничивается возможностью появления трещин вследствие возрастания термических напряжений.

Скорость разливки устанавливается, прежде всего, из условия прочности корочки металла, закристаллизовавшегося в процессе прохождения слитка через кристаллизатор. Необоснованное превышение скорости литья приводит к прорывам корочки под действием ферростатического давления.

МНЛЗ со всеми вспомогательными механизмами является основной производственной системой, которая входит в состав сталеплавильного цеха и предназначена для выпуска определенного сортамента слябовых или сортовых заготовок, как правило, одной группы сплавов.

3. Вертикальные МНЛЗ

МНЛЗ вертикального типа позволяют получать заготовки высокого качества вследствие отсутствия деформации затвердевающей корочки в процессе литья и обеспечения хорошей осевой плотности под действием высокого гидростатического давления жидкой фазы слитка. Наибольшее применение они находят при отливке заготовок больших сечений (сторона квадрата или диаметр до 500...600 мм для стали, толщина до 600 мм и ширина до 2200 мм для алюминиевых сплавов) и широком сортаменте сложных сплавов.

На рис. 3.1 показана схема вертикальной двухручьевой блюмовой МНЛЗ завода Виттен фирмы EWK (ФРГ), предназначенной для производства заготовок из коррозионностойких, жаростойких, инструментальных и качественных конструкционных сталей.

Машина имеет конструкцию в виде башни: разливочная часть, кристаллизаторы, тянущие клетки расположены над уровнем пола, а устройства для резки, приема и перемещения заготовок – под полом. МНЛЗ предназначена для получения заготовок сечением 300×475 мм производительностью до 75 т/час. Скорость литья – 0,3...0,6 м/мин. Высота над уровнем пола – 24 м. Глубина приемка – 27 м.

Из сталеразливочного ковша 1 сталь поступает в промежуточный ковш 2, а из него в кристаллизатор с вертикальными стенками 3, совершающий возвратно-поступательное движение вверх-вниз. Каждый ручей машины оборудован двумя электромагнитными перемешивателями с вращающимся магнитным полем. Один из них обслуживает кристаллизатор, а другой служит для перемешивания жидкого металла, находящегося внутри затвердевающего слитка.

После выхода из кристаллизатора слиток с жидкой сердцевиной движется вниз через зону вторичного охлаждения, которая представляет собой систему форсунок и направляющих роликов, предотвращающих выпучивание корки слитка.

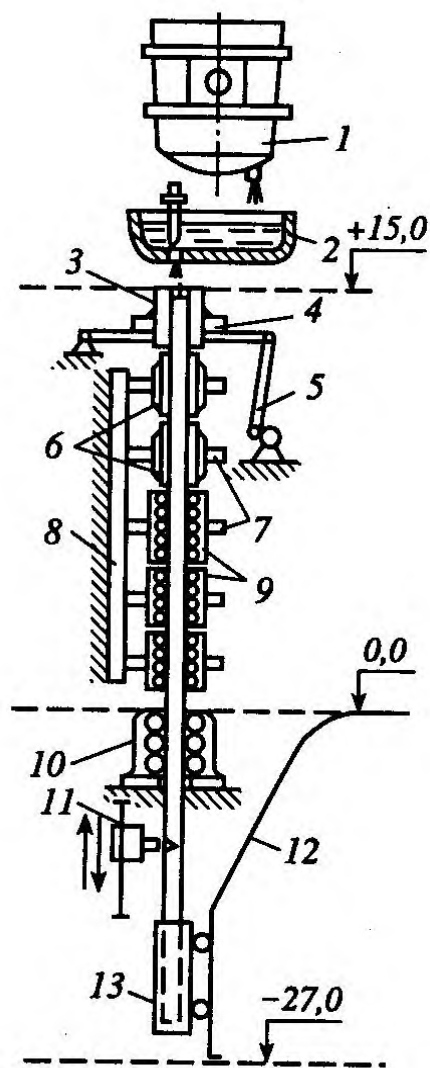


Рис. 3.1. Схема вертикальной машины непрерывного литья заготовок:
 1 - сталеразливочный ковш; 2 - промежуточный ковш; 3 - кристаллизатор;
 4 - опорная рама кристаллизатора; 5 - механизм качания кристаллизатора;
 6 - секции опорных брусьев; 7 – механизмы прижатия и перемещения брусьев
 и роликов брусьев; 8 – опорная колонна; 9 – секция опорных роликов;
 10 – тянущая клеть; 11 - газорезка; 12 – путь подъемной тележки;
 13 - тележка для подъема слитков.

Для облегчения монтажа и ремонта группы роликов объединяют в отдельные секции. В машинах для отливки слитков квадратного или близкого к нему прямоугольного сечения направляющие ролики расположены со всех четырех сторон слитков; при отливке плоских слитков – вдоль двух широких граней слитка.

За зоной вторичного охлаждения расположены секции тянущих роликов 10, которые обеспечивают вытягивание и регулирование скорости движения слитка, а также предотвращают проскальзывание слитка вниз. Каждая секция состоит из двух-трех пар валков, соединенных с приводом и прижимаемых к слитку гидроцилиндрами.

Ниже тянущих роликов находятся режущие устройства 11, которые разрезают движущийся слиток на отрезки мерной длины, например, с помощью газорезки. Отрезанные заготовки поступают в приемное устройство 13, которое поворачиваясь и двигаясь по наклонному пути 12, поднимает заготовку из приемка выше уровня пола цеха и укладывает ее на горизонтальный рольганг, где производится дальнейшая обработка и клеймение.

Приемное устройство используется также для ввода затравки в кристаллизатор при реверсировании тянущих роликов.

В цветной металлургии вертикальные МНЛЗ широко применяют для разлива алюминиевых и медных сплавов, масштабы производства которых и номенклатура сплавов обуславливают экономическую целесообразность таких агрегатов.

На рис. 3.2 показана схема МНЛЗ вертикального типа для получения круглых и плоских слитков из алюминиевых сплавов. На таких машинах осуществляется процесс полунепрерывного литья слитков, поперечное сечение которых формируется в медных водоохлаждаемых кристаллизаторах скольжения. В качестве приемного устройства в них используется вертикально перемещающаяся тележка с приводом от гидроцилиндра, скорость опускания которого зависит от скорости литья, а ход – от длины отливаемых слитков. В зависимости от сплава и размеров слитка скорость литья находится в интервале 30...300 мм/мин.

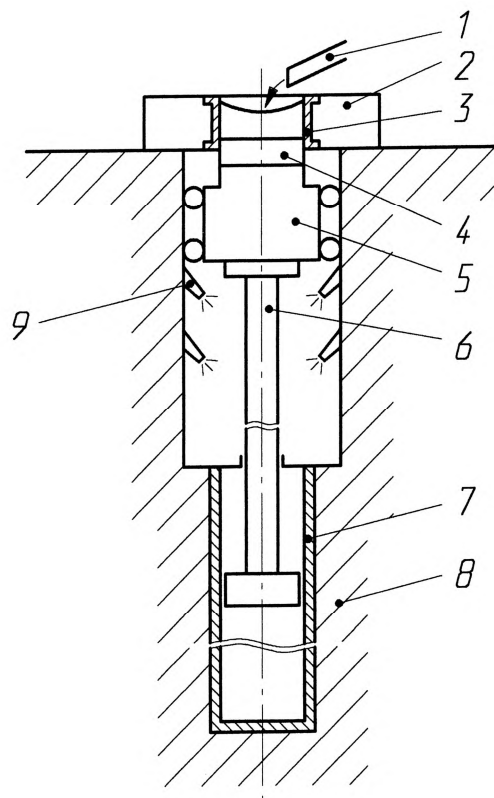


Рис. 3.2. Схема МНЛЗ вертикального типа для алюминиевых сплавов:
 1 - подача металла из печи-миксера; 2 - стол литейный; 3 - кристаллизатор водоохлаждаемый; 4 - затравка на поддоне; 5 - тележка перемещения поддона; 6 - шток гидроцилиндра; 7 - гидроцилиндр; 8 - шахта; 9 - вторичное охлаждение (форсунки).

В последние годы для получения слитков из алюминиевых сплавов все более широкое распространение получают вертикальные МНЛЗ с формированием слитка электромагнитным полем, т.е. с применением электромагнитных кристаллизаторов вместо кристаллизаторов скольжения.

При формировании слитка электромагнитные силы воздействуют на жидкий металл, находящийся в переменном электромагнитном поле кольцевого индуктора. Эти силы возникают вследствие взаимодействия вихревых токов, наведенных в жидком металле с магнитным полем индуктора. Создаваемое электромагнитное давление сжимает металл в радиальном направлении и способно удержать его от растекания. При сжатии металл приобретает в поперечном сечении форму индуктора с размерами, которые зависят от интенсивности магнитного поля, и таким образом

образует столб жидкого металла. Охлаждающая среда обеспечивает частичное затвердевание жидкого столба в зоне действия магнитного поля.

На рис. 3.3 представлена схема установки непрерывного литья с формированием слитка электромагнитным полем.

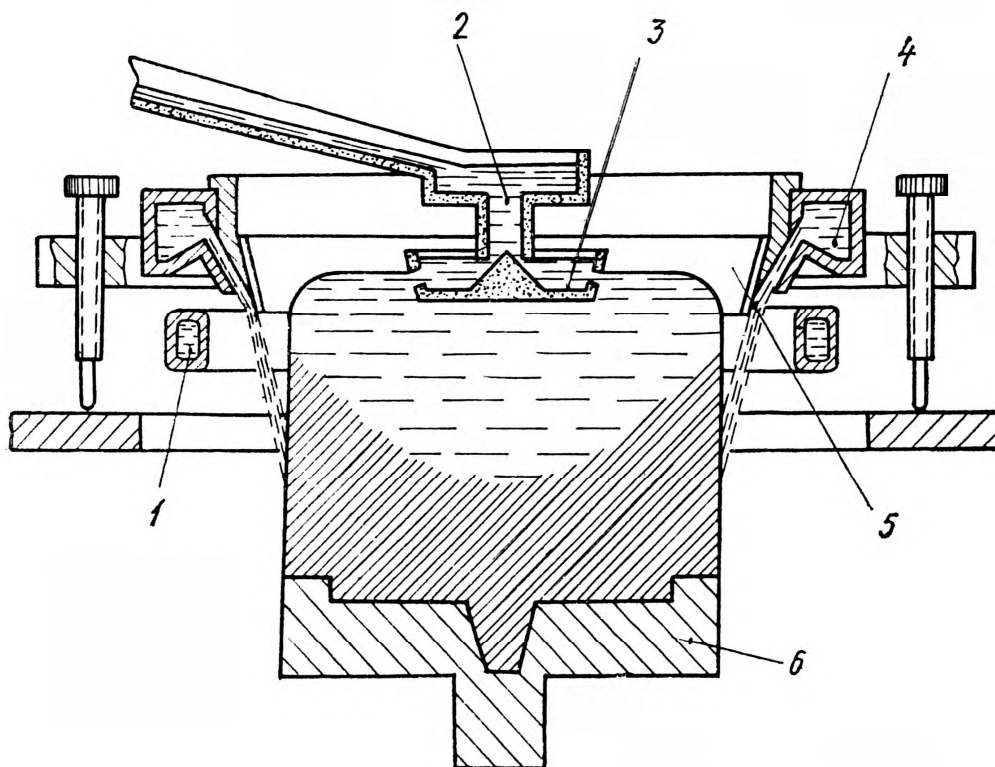


Рис. 3.3. Схема установки непрерывного литья с формированием слитка электромагнитным полем:

- 1 - индуктор; 2 - распределительная коробка; 3 - плавающая чаша;
4 - коллектор; 5 - конус направляющий; 6 – поддон.

Перед началом литья металлический поддон 6 вводится внутрь индуктора 1. Вода из коллектора 4 по наружной поверхности конуса 5 поступает на боковую поверхность поддона. Через разливочную коробку 2 на поддон подается расплав. Регулировка уровня металла осуществляется плавающей чашей 3.

Электромагнитное поле, возбуждаемое индуктором, создает в расплаве силы, благодаря которым жидкий металл приобретает заданную форму на наружной поверхности которой, вследствие охлаждения, образуется корочка затвердевшего металла. Процесс литья состоит в непрерывном извлечении

затвердевающего слитка с одновременной подачей металла в зону его формирования при сохранении в ней жидкой фазы определенной высоты.

Основные преимущества литья в электромагнитный кристаллизатор заключаются в отсутствии контакта между слитком и стенками кристаллизатора и благоприятном воздействии электромагнитного перемешивания на структуру слитка. В результате на его поверхности отсутствуют ликвационные наплывы и отпадает необходимость обточки слитков.

Несмотря на широкое распространение МНЛЗ вертикального типа к их недостаткам следует отнести необходимость заглубления машины, низкую скорость литья вследствие необходимости сокращения зоны кристаллизации из-за влияния статического давления жидкого металла, которое приводит к выпучиванию корки слитка и возможности ее разрушения с прорывом жидкой фазы, а также значительные вертикальные габариты.

При расчете тянущей клетки вертикальных разливочных машин основным видом сопротивления движению является сила трения $F_{тр}$ между слитком и направляющими зоны вторичного охлаждения (ЗВО)

$$F_{мп} = 2 \cdot f \cdot \gamma \cdot \left[0,5 \cdot B \cdot (L_2^2 - L_1^2) - \frac{\delta}{3 \cdot l} (L_2^3 - L_1^3) \right]$$

где f – коэффициент трения слитка в направляющих, $f \approx 0,2$; B – ширина слитка; δ – толщина слитка; L_1 – расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до начала опорных роликов ЗВО; L_2 – расстояние от поверхности жидкого металла до границы зоны пластической деформации корочки; l – глубина жидкой фазы; γ удельный вес жидкого металла.

Статический момент на валу электродвигателя тянущий клетки

$$M_{движ} = \frac{(F_{мп} - G_{зат} - g_{сл} \cdot H_1) \cdot D_в}{2 \cdot i \cdot \eta} + M_2 + M_3$$

где $G_{зат}$ – вес заправки, $g_{сл}$ – погонный вес одного метра слитка; H_1 – высота столба металла в кристаллизаторе, $D_в$ – диаметр тянущих валков, i и η – передаточное число и КПД привода клетки; M_2 и M_3 – моменты сопротивления качения слитка в валках и трения в опорах валков.

Момент сопротивления качения слитка в валках определяется по формуле

$$M_2 = \frac{F_{\text{приж}} \cdot f_{\text{кач}} \cdot D_в}{i \cdot \eta}$$

где $F_{\text{приж}}$ – усилие прижатия валков к слитку; $f_{\text{кач}}$ – коэффициент трения качения валков по слитку, $f_{\text{кач}} = 0,08 \dots 0,12$.

Момент трения в опорах валков

$$M_3 = \frac{F_{\text{приж}} \cdot f_{\text{опор}} \cdot d_{\text{опор}}}{i \cdot \eta}$$

где $f_{\text{опор}}$ – коэффициент трения в подшипниковых опорах валков, $f_{\text{опор}} \approx 0,015$;
 $d_{\text{опор}}$ - диаметр подшипников.

4. Горизонтальные МНЛЗ

Машины непрерывного горизонтального литья заготовок по сравнению с вертикальными МНЛЗ имеют ряд преимуществ, основные из которых следующие:

- сокращение на 40...50% инвестиций вследствие отсутствия необходимости в сооружении высоких зданий цехов, мощных фундаментов и глубоких приямков и применения мощных мостовых кранов;
- более низкая стоимость машин и адьюстажного оборудования;
- отсутствие деформации слитка при литье и др.

На рис. 4.1 приведена схема МНЛЗ горизонтального типа для отливки сортовых слитков квадратного сечения толщиной до 200 мм и круглых заготовок диаметром до 330 мм, скорость разливки достигает 4 м/мин. Технологическая ось машины расположена горизонтально или наклонена на угол до 15° к горизонтали.

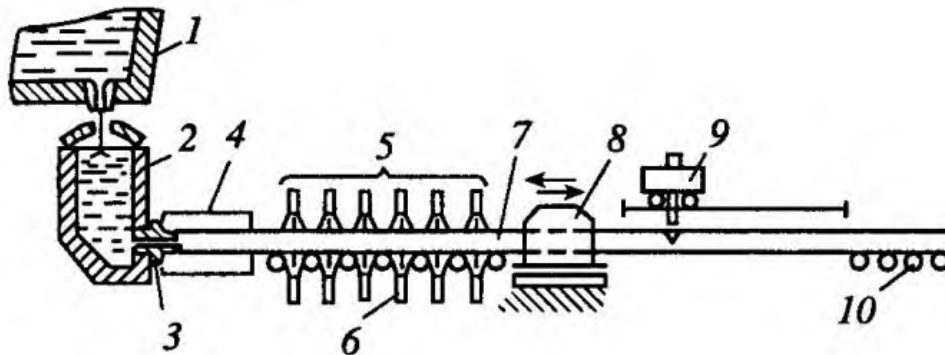


Рис. 4.1. Схема МНЛЗ горизонтального типа:

- 1 – сталеразливочный ковш; 2 – металлоприемник; 3 – огнеупорное разделительное кольцо; 4 – кристаллизатор; 5 – зона вторичного охлаждения; 6 – водяные форсунки; 7 – слиток; 8 – механизм вытягивания слитка; 9 – газрезка; 10 – рольганг.

Сталь из разливочного ковша 1 поступает в футерованный металлоприемник 2 и далее в жестко соединенный с ним кристаллизатор 4 через огнеупорное разделительное кольцо 3. Разделительное кольцо должно

быть стойким против тепловых ударов и размывания потоком металла, быть малотеплопроводным, чтобы в нем не застывала сталь. Часто разделительное кольцо изготавливают из нитрида бора.

После кристаллизатора затвердевший по периферии слиток 7 попадает в зону вторичного охлаждения 5, которая представляет собой рольганг с системой водяных форсунок 6. Поскольку ферростатическое давление невелико, выпучивание корочки слитка не происходит.

Далее расположен механизм периодического вытягивания слитка 8 из кристаллизатора (шаговой протяжки). Механизм перемещает слиток вперед на 10...50 мм, затем останавливается на 1...5 с, после чего цикл повторяется. Во время вытягивания корочка слитка освобождает часть поверхности стенки кристаллизатора, на которой начинает нарастать новая стационарная корочка из затвердевающего сплава. В период остановки слитка происходит стык фронтов затвердевания стационарной и двигавшейся корочек и их соединение. В следующем цикле сдвигается уже объединенная корочка, освобождая место для формирования следующей новой корочки. Такое циклическое вытягивание слитка заменяет качание кристаллизатора на вертикальных и радиальных машинах для предотвращения разрывов корочки слитка в кристаллизаторе.

За механизмом вытягивания расположена газорезка 9 и рольганг 10 с приводными роликами для транспортировки мерных заготовок на склад.

Подобные горизонтальные МНЛЗ применяются для отливки слитков из алюминиевых и медных сплавов, которые могут иметь до 6 ручьев при диаметре заготовок до 180 мм, а также для разливки в небольших количествах высококачественных марок сталей.

Несмотря на преимущества горизонтального литья, этот способ получил пока ограниченное применение вследствие его основной особенности: действие силы тяжести перпендикулярно направлению вытягивания слитка из кристаллизатора, что неблагоприятно сказывается на формировании слитка.

Вследствие увеличенного отвода тепла по нижней поверхности слитка из-за плотного контакта его корочки со стенкой кристаллизатора затвердевание сплава на верхней поверхности отстаёт от нижней, в результате чего фронт кристаллизации становится ассиметричным, что может приводить к образованию трещин. Плотный контакт корочки слитка со стенкой кристаллизатора в нижней его части сопровождается накоплением в ней растягивающих напряжений, превышающих напряжения в верхней части, что может вызывать разрывы нижней корочки и ограничивает скорость вытягивания слитка. Цикличность вытягивания слитка оказывает заметное влияние на качество его поверхности и структуру вследствие образования периодических складок и ликвационных полос, очерчивающих фронт кристаллизации.

Из наиболее значимых недостатков горизонтальных МНЛЗ по сравнению с радиальными два – это более низкая стойкость кристаллизаторов и необходимость использования, при соединении металлоприемника с кристаллизатором, разделительного кольца из нитридной керамики.

В отношении разделительного кольца необходимо отметить следующее. В случае разливок одиночных плавков, данная позиция действительно заметна, поскольку кроме дополнительных затрат при подготовке МНЛЗ к разливке добавляется еще одна технологическая операция – установка кольца в гильзу, требующая определенного времени. По этой причине, при современных скоростных способах выплавки стали, для сокращения межразливочного периода, сборку головного блока машины (узла металлоприемник - кристаллизатор) приходится выполнять на специальном стенде, вне ручья. Однако при литье методом "плавка на плавку" недостаток горизонтальных установок, связанный с кольцом уже не столь значим. Свойства современных огнеупоров позволяют надежно разливать сталь непрерывно в течение 6...8-ми часов через одно кольцо. Это безусловно сокращает удельные финансовые затраты связанные с данной позицией.

Опыт применения МНЛЗ горизонтального типа различных цветных металлов и сплавов свидетельствует о том, что такие машины являются весьма эффективными для получения заготовок из чистых и малолегированных сплавов, качество поверхности которых не является определяющим для дальнейшего применения.

На отечественных ГМНЛЗ использовались приводы, которые могли обеспечить максимальную частоту циклов вытягивания заготовки - 60 в минуту, с простой схемой цикла "рывок-пауза", что давало возможность разливать только углеродистые качественные и низколегированные стали.

В горизонтальных МНЛЗ производства ООО "СПЕЦМАШ" применен высокочастотный привод механизма вытягивания заготовок, который позволяет развивать частоту циклов до 120...150 в минуту по схеме «рывок – обратный ход – пауза», что дает возможность разливать с высоким качеством широкий диапазон высококачественных сталей.

На рис. 4.2 показана схема расположения МНЛЗ горизонтального типа. Головной блок установки 1 состоит из опорной рамы и металлоприемника, с которым герметично соединен кристаллизатор (рис. 4.3), где осуществляется формирование и частичное затвердевание заготовки. Далее располагается роликовая проводка зоны вторичного охлаждения 2, где завершается кристаллизация металла. Вытягивание непрерывного слитка осуществляется тянущей клетью 3 с электроприводом 8. За клетью располагается устройство порезки слитка 4 (ножницы или машина газовой резки). Участок уборки заготовок включает промежуточный 5 и приводной 6 рольганги и служит для передачи их в прокатное отделение, либо на холодильник 7.

МНЛЗ горизонтального типа можно рекомендовать к использованию, в составе микро-металлургических комплексов производительностью до 100тыс. тонн в год:

- на машиностроительных предприятиях, имеющих металлургическое производство, для выпуска продукции небольших профилеразмеров;
- на небольших металлургических предприятиях при организации производства небольших партий мелкосортного проката в короткие сроки;

- при перепрофилировании или реконструкции машиностроительных предприятий;

- при ликвидации или реконструкции крупных металлоемких сооружений, для переработки металлолома непосредственно на месте производства работ.

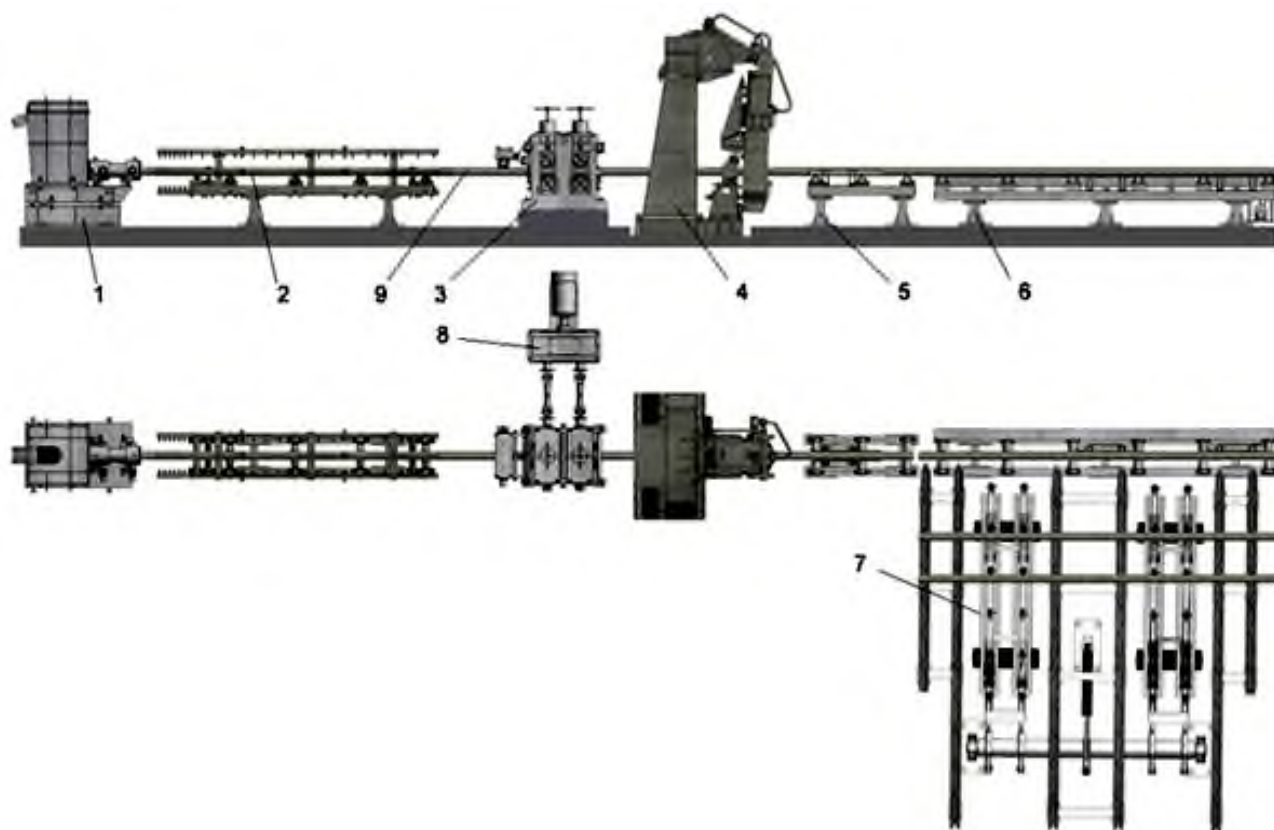


Рис. 4.2. Схема расположения горизонтальных МНЛЗ ООО «СПЕЦМАШ»:

- 1 - блок металлоприемник - кристаллизатор; 2 - зона вторичного охлаждения; 3 - тянущая клеть; 4 - устройство порезки заготовок; 5 - промежуточный рольганг; 6 - приводной рольганг; 7 - холодильник; 8 - редуктор с серводвигателем. 9 – непрерывно-литой слиток.

В таблице 4.1 представлены технические характеристики некоторых базовых вариантов горизонтальных МНЛЗ, разработанных ООО «СПЕЦМАШ».

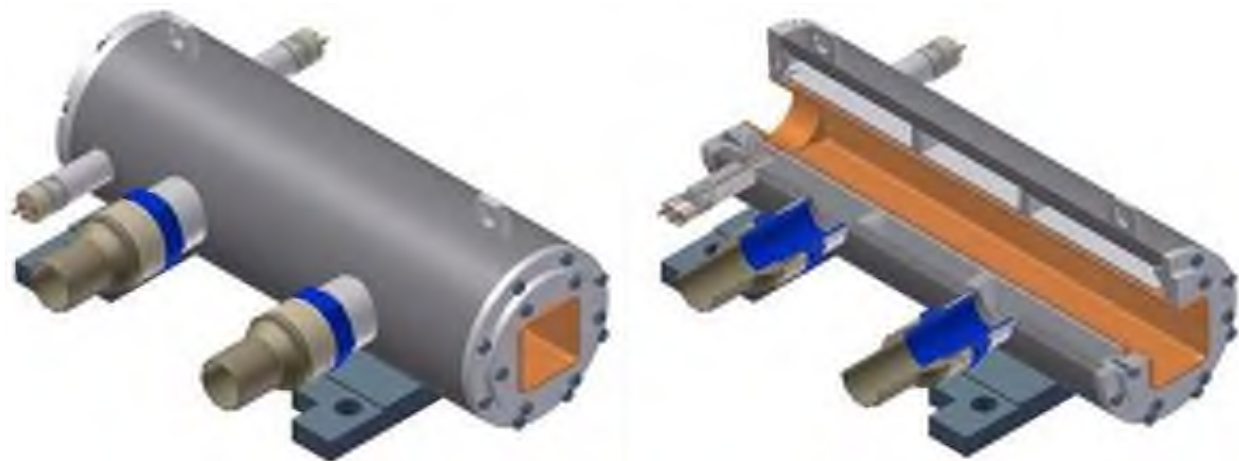


Рис. 4.3. Кристаллизатор горизонтальной МНЛЗ ООО «СПЕЦМАШ»

Таблица 4.1

**Технические характеристики горизонтальных МНЛЗ ООО
«СПЕЦМАШ»**

Характеристика	Обозначение					
	11СМ	21СМ	12СМ	22СМ	13СМ	23СМ
Сечение заготовок, мм: - круг, диаметр - квадрат, сторона	80...100 80...100	80...100 80...100	100...125 100...125	100...125 100...125	110...145 110...145	110...145 110...145
Производительность, тыс.т/год	25	50	35	70	45	90
Число ручьев	1	2	1	2	1	2
Масса разливаемой плавки, т	до 6	до 12	до 8	до 16	до 12	до 25
Скорость литья, м/мин	2,5...4,0	2,5...4,0	1,8...2,5	1,8...2,5	1,5...2,0	1,5...2,0
Мощность, кВА	45	80	60	100	70	125
Размеры МНЛЗ, м: - высота - длина - ширина ручья	1,75 25,0 0,5	1,75 25,0 2x0,5	2,0 30,0 0,75	2,0 30,0 2x0,75	2,0 36,0 0,9	2,0 36,0 2x0,9
Масса оборудования, т	40	70	60	90	70	130

5. Радиальные машины

Радиальные МНЛЗ получили наиболее широкое применение. По сравнению с вертикальными машинами они отличаются меньшей высотой и повышенной скоростью литья. Последнее достигается увеличением длины зоны кристаллизации, которая располагается на радиальном участке, имеющем радиус от 8 до 12 м.

Технологическая ось радиальной МНЛЗ (рис. 5.1) состоит из 2-х участков – радиального и прямолинейного, на которых установлены неприводные и приводные ролики (роликовые проводки). В местах перехода от радиального к прямолинейному участку происходит разгибка (выпрямление) слитка роликами.

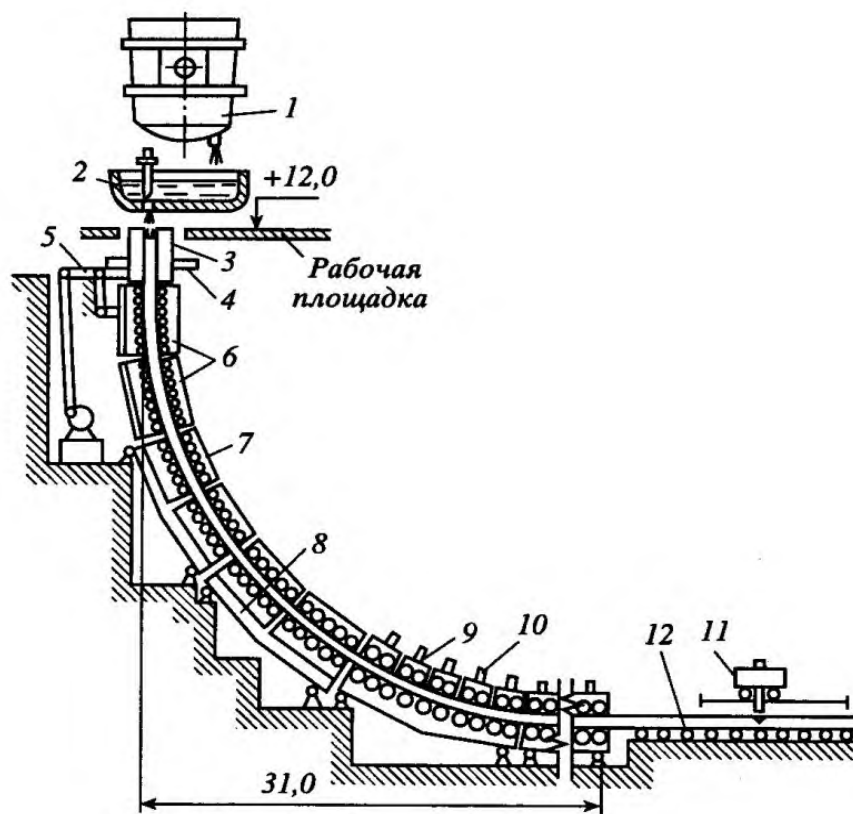


Рис. 5.1. Схема МНЛЗ радиального типа:

- 1 - сталеразливочный ковш; 2 - промежуточный ковш; 3 - кристаллизатор;
4 - опорная рама кристаллизатора; 5 - механизм качения кристаллизатора; 6,
7, 9 – секции роликовой проводки; 8 – опорные балки; 10 - механизм
прижатия и перемещения роликов; 11 - газорезка; 12 – рольганг.

Выпрямление слитка – технологически необходимая операция на МНЛЗ радиального типа.

Затвердевание непрерывно-литых слитков в МНЛЗ радиального типа происходит в условиях, существенно отличающихся от условий формирования слитка в вертикальных и горизонтальных МНЛЗ. Главное отличие заключается в том, что процесс кристаллизации осуществляется при одновременной деформации слитка, которая включает в себя следующие факторы:

- выпучивание корочки слитка под действием ферростатического давления;
- растяжение при вытягивании формирующегося слитка;
- обжатие частично закристаллизовавшегося слитка валками тянущих клеток;
- изгиб слитка, металл которого находится в двухфазном состоянии.

На рис.5.2 показана радиальная двухручьевая слябовая машина с гидравлическим прижатием роликов проводок.

Подготовка машины к литью предусматривает ввод затравки в кристаллизатор, которая предназначена:

- для образования временного дна в кристаллизаторе перед его заполнением металлом на рабочую высоту;
- для последующего протягивания слитка по неприводным и приводным роликовым проводкам на начальной стадии литья.

На слябовых МНЛЗ обычно применяют гибкие затравки, состоящие из элементов, соединенных пластинчатыми пружинами или шарнирами. Хранение затравок осуществляется на вертикальных или горизонтальных стеллажах.

Ввод затравки в кристаллизатор осуществляют снизу с помощью специальных механизмов. На рис.5.2 механизм ввода затравки 9 из вертикального стеллажа включает следующие механизмы: стол 16 с неприводными роликами и гидравлическим механизмом наклона стола; каретка 15, перемещающаяся по вертикальным направляющим и снабженная крюками для соединения с затравкой; канатный полиспаст с лебедкой 14.

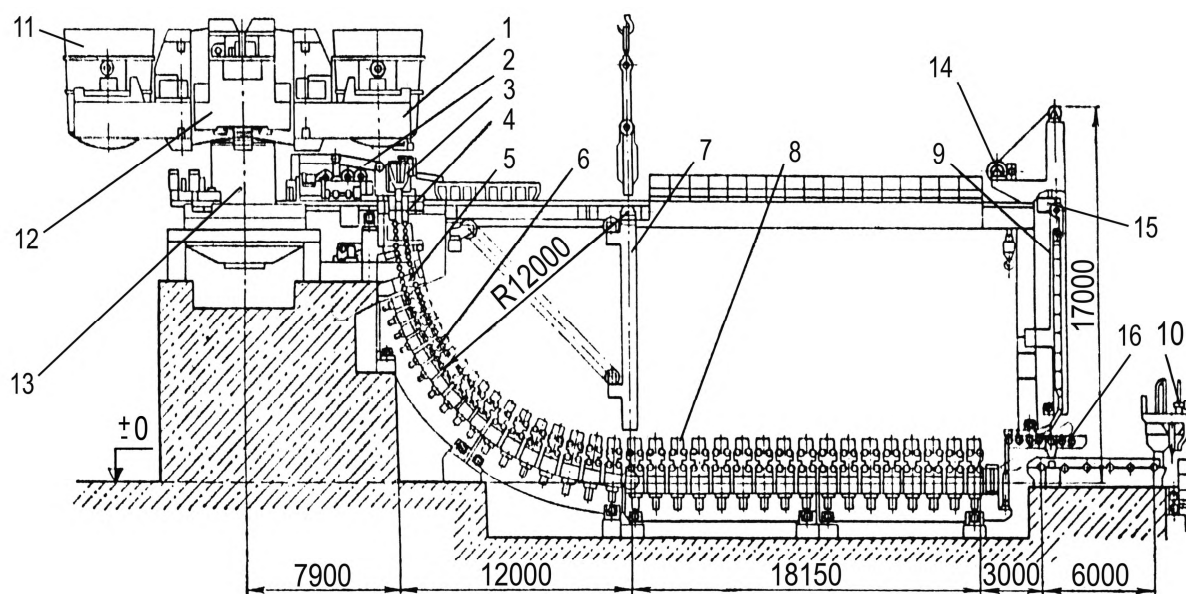


Рис. 5.2. Двухручьевая слябовая МНЛЗ радиального типа с гидравлическим прижатием роликов:

1 – поворотный сталеразливочный стэнд; 2 – тележка промежуточного ковша; 3 – промежуточный ковш; 4 – кристаллизатор с механизмом качания; 5 – неприводная роликовая проводка; 6 – роликовые проводки радиального участка; 7 – манипулятор для замены роликовых проводок; 8 – роликовые проводки горизонтального участка; 9 – машина для ввода затравки в кристаллизатор снизу; 10 – машина газовой резки слябов; 11 – ковш на подвесках; 12 – несущая рама; 13 – платформа поворотная; 14 – лебедка; 15 – каретка; 16 – наклоняемый стол.

Затравку вводят в кристаллизатор через горизонтальный и радиальный участки роликовой проводки реверсированием вращения роликов. При этом она отсоединяется от крюка приводной каретки.

Перед разливкой сталь, выплавленную в дуговой печи или конвертере, выливают в сталеразливочный ковш, установленный на стелевозе, с помощью которого ковш передается из печного пролета в разливочный. В

разливочном пролете краном ковш подают на установку печь-ковш, где происходит доводка стали до нужного качества.

После окончания этого процесса на разливочный ковш краном надевают крышку, и переносят на поворотный стенд МНЛЗ. Стенд, предназначенный для установки 2-х сталеразливочных ковшей, имеет два положения: рабочее, над промежуточным ковшом и кристаллизаторами, и резервное, где происходит удаление крышки и замена ковшей. Подачу металла в промежуточный ковш осуществляют из сталеразливочного ковша, находящегося в рабочем положении, через питатель с шиберным затвором.

Стенд 1 состоит из основания 12, поворотной платформы 13, рамы с подвесками для ковшей 11 и имеет следующие механизмы:

- механизм поворота для перевода ковшей из резервного в рабочее положение, время поворота на угол $180^\circ \sim 30$ с;
- механизм подъема и опускания ковшей, высота подъема ~ 650 мм, время подъема ~ 25 с;
- весоизмерительную систему для контроля за расходом металла.

Поворот платформы осуществляется на роликах, перемещающихся по круговому рельсу, закрепленному на основании. Привод электромеханический через зубчатый венец, или от гидромотора (имеется аварийный пневмопривод).

Вертикальные перемещения ковша, необходимые для ввода питателя в промежуточный ковш, осуществляются качательным движением рамы. Привод гидравлический.

Промежуточный ковш предварительно нагревают на стенде газовыми горелками и тележкой перемещают в рабочее положение над кристаллизатором по пути, перпендикулярному технологической оси МНЛЗ. Продолжительность пребывания стали в промежуточном ковше – 10...12 мин. Промежуточный ковш подвешивают на рычагах для удобства его подачи в зону разливки.

Жидкая сталь подается к МНЛЗ с помощью сталеразливочных ковшей. Учитывая дискретный способ подачи стали к МНЛЗ, для обеспечения

непрерывного процесса литья используется система технологических переливов металла, которая обеспечивает дозирование стали в течение всего цикла работы МНЛЗ. Общая схема движения металла на участке «сталеразливочный ковш» - «кристаллизатор МНЛЗ» представлена на рис. 5.3.

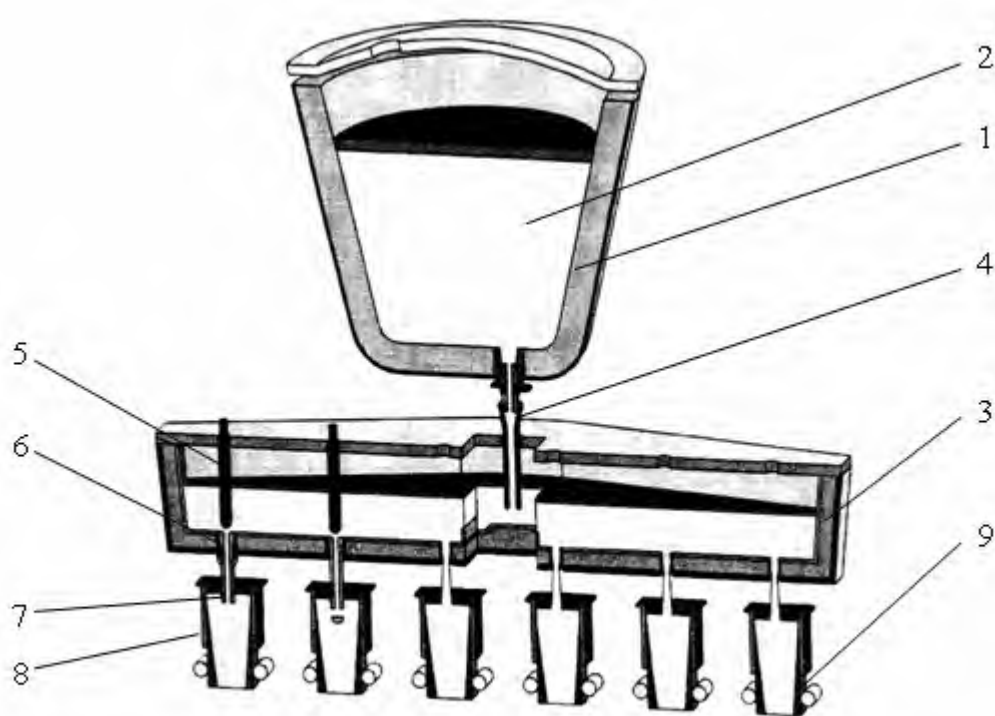


Рис. 5.3. Компоновка подсистемы «сталеразливочный ковш – промежуточный ковш - кристаллизатор»:

- 1 – сталеразливочный ковш; 2 – жидкий металл; 3 – промежуточный ковш;
- 4 – защитная труба; 5 – стопор; 6 – стакан дозатор; 7 – погружной стакан;
- 8 – кристаллизатор; 9 – заготовка.

Важнейшим функциональным и технологическим элементом является промежуточный ковш, так как благодаря ему в значительной степени определяет устойчивость и стабильность процесса разлива в целом. Промковш предназначен для приема из сталеразливочного ковша жидкого металла, сохранения его с минимальными тепловыми потерями и распределения его по отдельным ручьям машины со сравнительно

одинаковым ферростатическим давлением в ходе разливки при одновременном обеспечении предотвращения вторичного окисления расплавленного металла и загрязнения его неметаллическими включениями, а также попадания шлака в кристаллизатор. Кроме того, промковш выполняет функции усреднения металла по химическому составу, температуре и повышению качества заготовки.

Для подачи металла сначала открывают шиберный затвор питателя сталеразливочного ковша и заполняют промежуточный ковш металлом на определенную высоту. После этого открывают стопоры промежуточного ковша и наполняют кристаллизаторы металлом до рабочего уровня через стаканы-дозаторы (рис. 5.4). Включают механизмы качания кристаллизаторов и приводы роликовых проводок. Начинается процесс литья в два ручья машины.

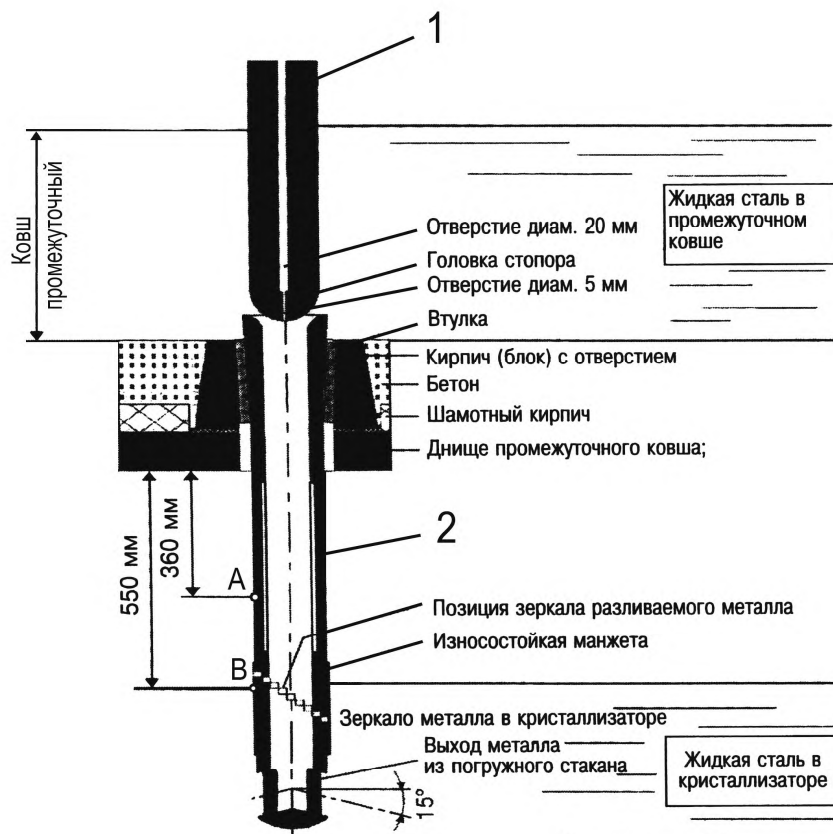


Рис. 5.4. Схема стопора и погружного стакана промежуточного ковша (А и В – точки измерения температуры контактным термометром):
1 - стопор (затвор промежуточного ковша); 2 - стакан-дозатор.

О количестве металла, находящегося в сталеразливочном и промежуточном ковшах, судят по показаниям датчиков весоизмерительных систем, которыми оборудованы стенд и тележка промежуточного ковша.

Затравка вместе со слитком вытягивается из кристаллизатора роликами проводок. При этом слиток сначала проходит секцию неприводных роликов, так как прочность корочки еще мала, и она не может быть использована для создания вытягивающего усилия. Затем вступают в действие приводные секции роликовой проводки. По пути движения через ролики слиток подвергают интенсивному охлаждению водой, подаваемой форсунками (вторичное охлаждение). Затравка движется к выходу из роликовой проводки. Стол затравочной машины опущен, каретка находится внизу и ее крюки готовы сцепиться с концом затравки. После выхода конца затравки из проводки он по наклонному столу поднимается к каретке и сцепляется с ее крюком. Включается лебедка и каретка, перемещаясь по вертикальным направляющим, поднимает затравку. Отсоединение затравки от слитка производится подъемом стола посредством гидроцилиндров. Слиток движется дальше по рольгангу на резку.

Правка слитка (разгибка) производится на участке перехода от радиальной траектории движения к горизонтальной в приводной роликовой проводке.

Непрерывно вытягиваемый слиток поступает к машине газовой резки, которая на ходу режет слиток на мерные длины: ширина реза ~ 10 мм; скорость резки – 330...450 мм/мин.; допуск на длину ± 15 мм. Затем заготовки по рольгангу передаются для дальнейшего передела или складироваться.

Сортовые МНЛЗ по устройству подобны слябовым. Основные отличия заключаются в следующем (рис. 5.5):

- число ручьев при заготовках сечением от 200×200 до 300×450 мм и вместимости разливочных ковшей до 350 т может достигать 8 с радиусом кривизны до 12 м. Чаще всего радиальные машины имеют 4-6 ручьев.

- меньшее выпучивание корочки слитка позволяет уменьшить число роликовых проводок и в большинстве случаев выполнять их неприводными. Обычно нижние ролики неприводные, а верхние – приводные и прижимаются к слитку рычажным механизмом с помощью гидроцилиндров.
- затравка выполняется в форме дугообразного бруса и отводится для хранения по дуге.



Рис. 5.5. Общий вид сортовой МНЛЗ

Дугообразная жесткая затравка представляет собой брус, форма сечения которого одинакова с отливаемым слитком. Кривизна дуги бруса соответствует радиусу кривизны технологической оси машины. Ввод жесткой затравки в кристаллизатор производят снизу через роликовые проводки.

Длительность разливки стали из одного промковша сортовой МНЛЗ на ряде заводов достигает сегодня 50-100 плавов и лимитируется, главным образом, двумя технологическими факторами: износом стаканов-дозаторов и

опережающим износом футеровки промковша в зоне падения струи, вытекающей из сталеразливочного ковша.

Проблема износа внутренней полости стаканов-дозаторов решается путем оптимизации технологии подготовки стали к разливке и применением устройств для быстрой замены стаканов-дозаторов (рис. 5.6). Такие устройства, например, могут быть выполнены в виде специальной кассеты, расположенной под днищем промковша и имеющей два стакана-дозатора, быстрая установка которых в рабочее положение (цикл перемещения стакана-дозатора составляет около 0,2-0,3 секунды) осуществляется с помощью специального гидропривода.

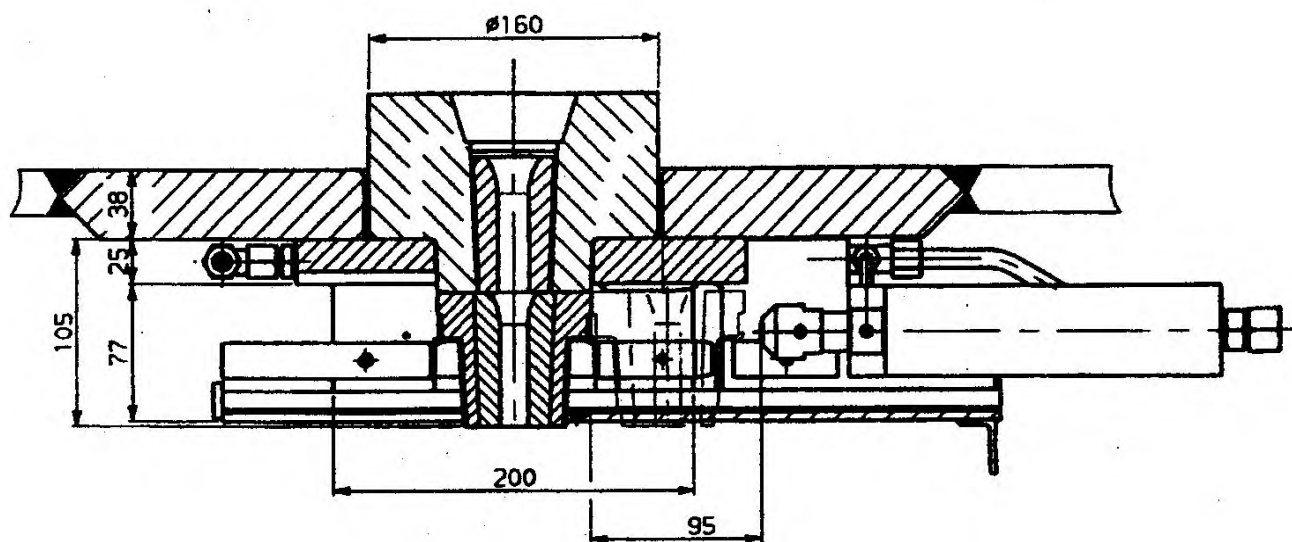


Рис. 5.6. Устройства для замены стакана-дозатора фирмы «Intocast»

Применение устройства для быстрой замены стакана-дозатора обеспечивает повышение стабильности процесса литья и минимизацию вторичного окисления металла на участке промковш-кристаллизатор.

Одним из основных способов решения проблемы износа рабочего слоя футеровки промковша в зоне падения струи является создание рациональной схемы движения потоков стали, исключающих дополнительное разрушение рабочего слоя футеровки промковша. Особенности работы промковша многоручьевой сортовой МНЛЗ имеет следующие особенности:

- постоянный контакт части днища промковша со струей металла, падающей из сталеразливочного ковша, что приводит к размыванию огнеупорного слоя;
- периодическое изменение уровня металла в промковше (во время замены сталеразливочных ковшей), изменяющее динамику движения стали;
- бурление металла и его активное перемешивание с покровным шлаком в зоне падения струи стали, что обуславливает износ рабочего слоя футеровки;
- попадание в промковш шлака из сталеразливочных ковшей, что изменяет свойства и толщину покровного шлака в промковше по ходу разливки.

Учет всех вышеперечисленных особенностей работы промковша в плане обеспечения разливки сверхдлинными сериями невозможен без применения специальных устройств (металлоприемников, порогов и т.п.), оказывающих реальное влияние на гидродинамическую картину в жидкой ванне промковша в течение всего цикла разливки. Кроме того, движение потоков стали в промковше необходимо организовать так, чтобы разность значений температуры стали, вытекающей из центральных и крайних ручьев, была минимальной, что обеспечивает стабильность процесса литья.

В качестве примера на рис. 5.8-5.10 приведены схемы промковша 5-ти ручьевого сортовой МНЛЗ, разработанных в МГТУ им. Г.И.Носова.

Промковш на рис. 5.8 включает оригинальную конструкцию поперечной перегородки 4. Она отделяет приёмную камеру ковша от разливочной и защищает центральный ручей (№ 3) от интенсивных нестабильных течений потоков жидкой стали, поступающих из приёмной камеры. Перегородка имеет пространственную конфигурацию с центральным выступом 5 и боковыми порогами. Промышленные испытания ее показали, что наряду с эффективной работой по защите центрального ручья, отделению неметаллических включений и рационального распределения потоков стали по ручьям, конструкция перегородки имеет недостаток - возможность её

всплытия во время работы промежуточного ковша из-за отсутствия элементов, обеспечивающих фиксацию и соответственно устойчивость элемента в полости ковша.

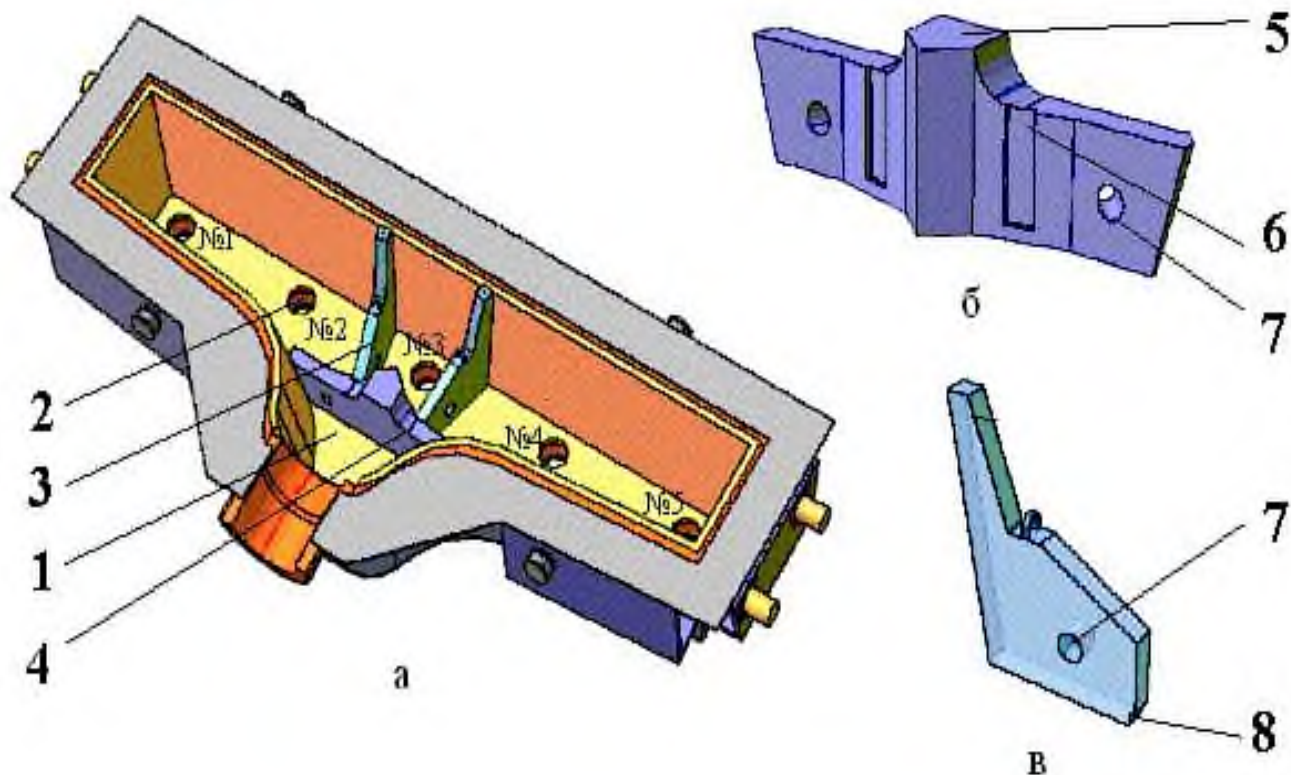


Рис. 5.8. Элементы системы распределения потоков стали в промежуточном ковше сортовой МНЛЗ на базе поперечной перегородки с центральным выступом: а – компоновка элементов системы в ковше; б – поперечная перегородка с центральным выступом; в – боковая перегородка с фиксирующими выступами; 1 – приёмная камера; 2 – разливочные отверстия; 3 – боковые перегородки; 4 – перегородка; 5 – верхний выступ перегородки; 6 – фиксирующие пазы перегородки; 7 - переливные отверстия; 8 – фиксирующие выступы.

Конструкция промковша на рис. 5.9 представляет собой литой элемент, имеющий дно, рабочую перегородку, со стороны разливочной камеры с переливными отверстиями и боковые защитные стенки, выполненные по высоте аварийного слива. Для лучшего закрепления многогранного огнеупора в промежуточном ковше были установлены дополнительные

боковые перегородки с переливными отверстиями. Предусмотрена возможность организации продувки металла через установленные боковые перегородки.

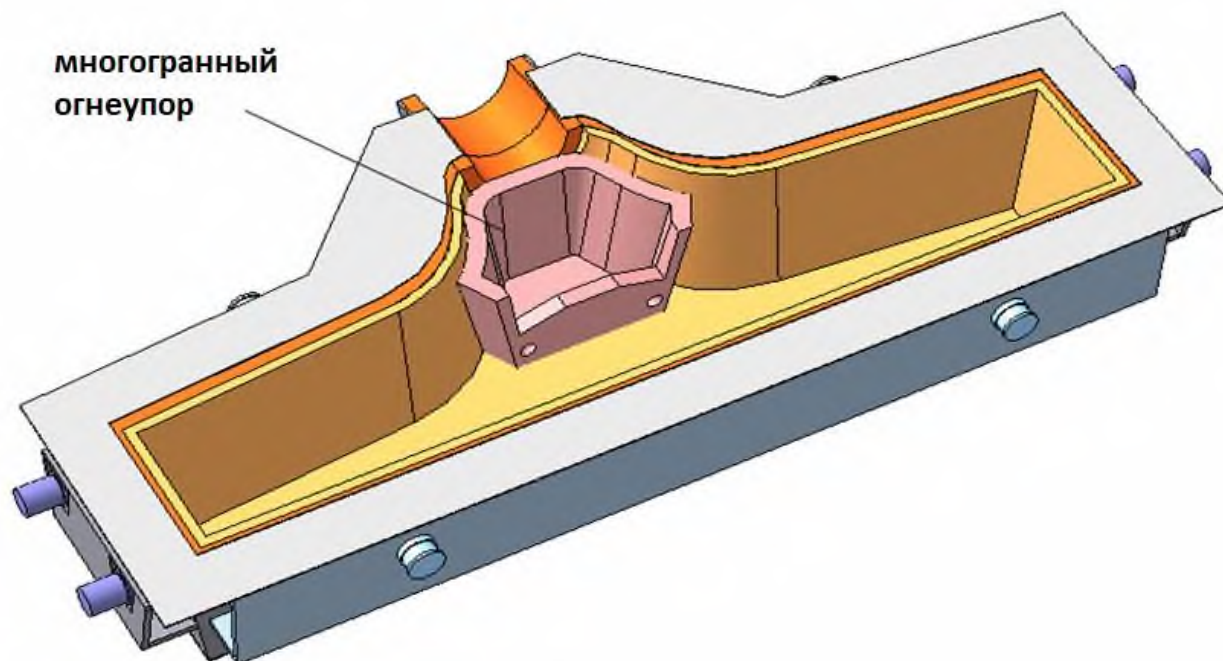


Рис. 5.9. Пятиручьевой промежуточный ковш сортовой МНЛЗ с многогранным огнеупором в приемной камере

На рис. 5.10 представлена конструкция многогранного пространственного огнеупора с выемкой в поперечной вертикальной перегородке со стороны приемной камеры.

Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла включает футерованный корпус 1, внутри которого установлены разливочные стаканы 2. Корпус 1 разделен на приемную 3 и разливочную 4 камеры вертикально установленной поперечной перегородкой 5 с отверстиями 6 для прохода металла многогранного огнеупорного элемента 7. Боковые стенки 8 элемента 7 закреплены на опорном элементе 9. Опорный элемент 9 установлен на дне 10 ковша. Со стороны приемной камеры 3 поверхность 11 поперечной перегородки 5 выполнена прямолинейной. В средней части поверхности 11 поперечной перегородки 5, обращенной в приемную камеру 3, выполнена

выемка 12 в виде верхней и нижней торцевых поверхностей и боковых граней.

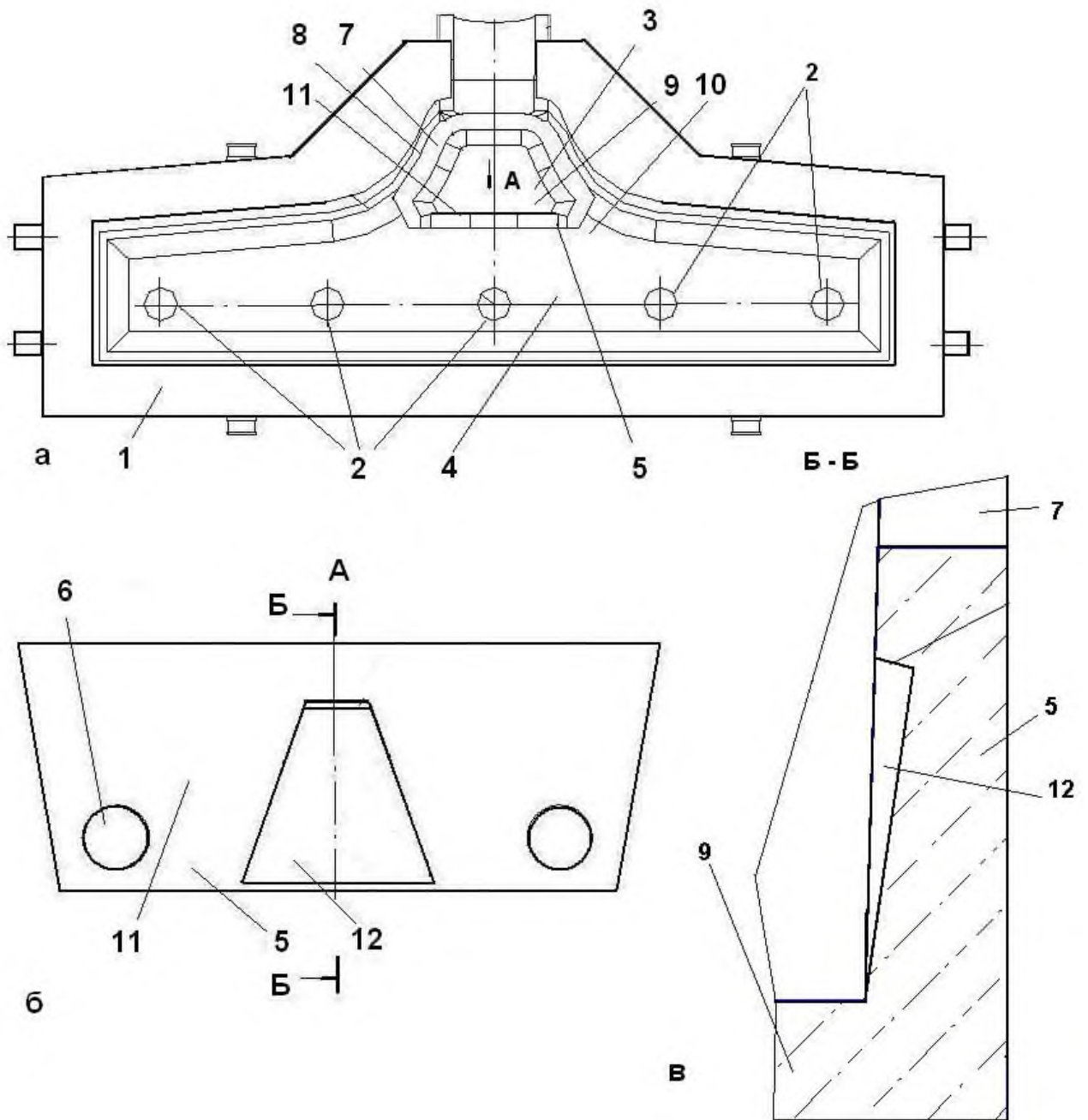


Рис. 5.10 . Конструкция многогранного огнеупора с выемкой:

а - общий вид ковша; б – вид поперечную стенку огнеупора; в – разрез по выемке; 1 – корпус; 2 – разливочные отверстия; 3, 4 - приемная и разливочная камеры; 5 – поперечная перегородка; 6 – отверстия для прохода металла; 7 – многогранный огнеупор; 8 – боковая поверхность огнеупора; 9 – опорный элемент огнеупора; 10 – дно ковша; 11 – боковая поверхность перегородки; 12 – выемка.

Промежуточный ковш, оснащенный созданным многогранным огнеупором с выемкой, работает следующим образом. При поступлении металла в приемную камеру, часть его потока перемещается по дну камеры и через отверстия 6 поступает в разливочную камеру, а вторая часть, перемещаясь в сторону перегородки 5, попадает на нижнюю торцевую поверхность выемки.

Перемещаясь по нижней торцевой поверхности, поток металла попадает на верхнюю наклонную торцевую поверхность выемки, которая направляет поток металла в полость приемной камеры промежуточного ковша. При этом исключается выход потока металла на поверхность приемной камеры, что обеспечивает стабильное течение металла на поверхности приемной камеры без захвата неметаллических включений на поверхности металла.

Выполнение в перегородке 5 выемки 12 способствует гашению нестабильных течений металла, протекающих в приемной камере при подаче его из сталеразливочного ковша в процессе всего цикла разливки металла. Это обеспечивает систему рационального распределения потоков стали в процессе её разливки. В результате этого затягивание неметаллических включений и частиц шлака в сталь значительно снижаются.

Техническая характеристика слябовых МНЛЗ приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Техническая характеристика слябовых МНЛЗ

Параметры	Страна, год пуска		
	Бразилия, 2001	Германия, 2004	Типовые данные
Размеры сляба, мм:			
- толщина,	210...260	250	200...315
- ширина.	750...1900	850...2100	1000...1900
Емкость ковша, т	160	210	350
Радиус изгиба, м	8	9	12
Количество ручьев	2	1	2
Скорость литья, м/мин.	1,2...1,9	1,35	1,0...2,5
Производительность, тыс.т/год	2400	600	1000...2000

В последние годы многие МНЛЗ оснащают устройствами электромагнитного перемешивания жидкого металла, что позволяет существенно повысить качество заготовок за счет уменьшения зоны столбчатых кристаллов, устранения осевой рыхлости и снижения количества пузырей и неметаллических включений в поверхностном слое заготовки (рис. 5.11).

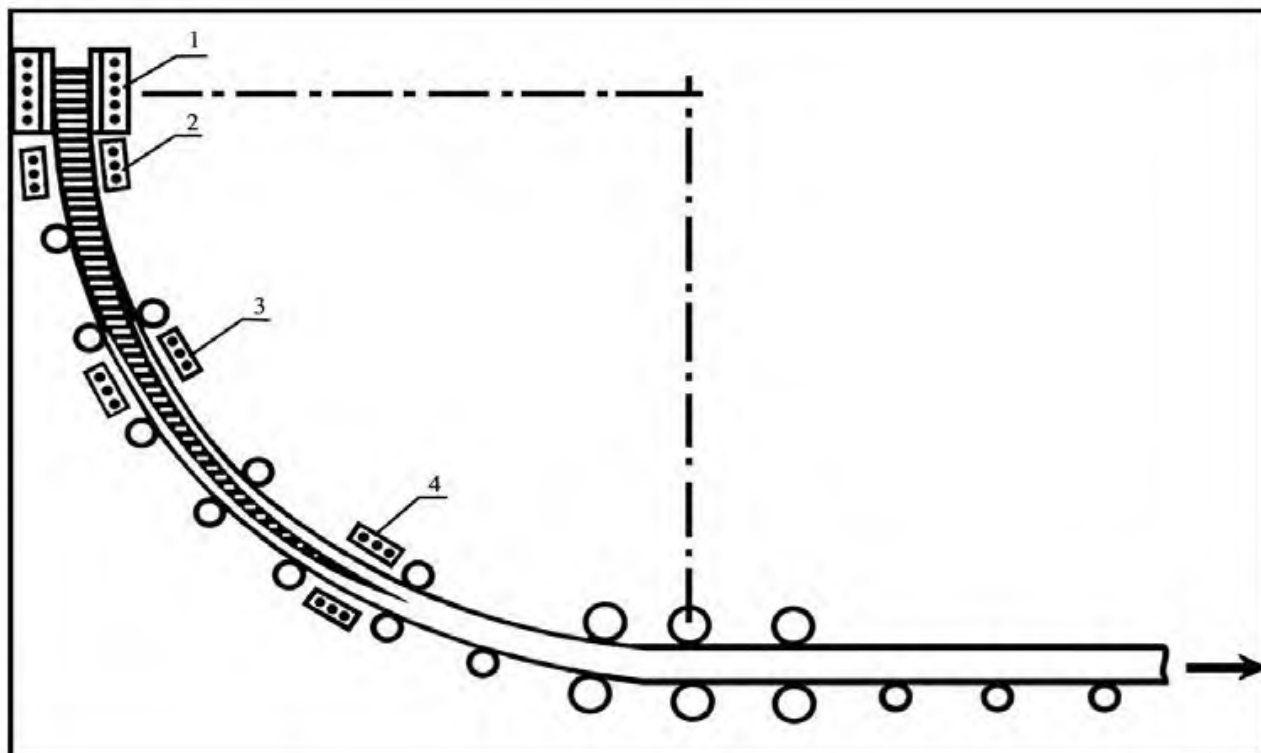


Рис. 5.11. Схематическое представление расположения возможных точек приложения электромагнитного воздействия:

- 1 - кристаллизатор; 2 – непосредственно под кристаллизатором; 3 – зона роста столбчатых кристаллов; 4 – зона объемной кристаллизации.

6. Управление и производительность МНЛЗ

Основные требования к системе управления:

- поддержание максимально возможной скорости литья, чтобы обеспечить наибольшую производительность МНЛЗ;
- обеспечение высокого качества получаемых заготовок (слябов, блюмов).

Контролируемые параметры (основные):

- температура расплава в сталеразливочном ковше, стакане-дозаторе, кристаллизаторе, а также на поверхности сляба;
- уровень ванны в кристаллизаторе и в промежуточном ковше;
- скорость литья;
- подача воды в системах охлаждения;
- режим качания кристаллизатора.

К одному из важнейших параметров процесса непрерывного литья относится определение точки окончательного затвердевания слитка. В идеальном случае сквозное затвердевание слитка должно заканчиваться на последнем ролике МНЛЗ, чтобы полностью была использована вся длина машины. Существующие методы определения точки окончательного затвердевания слитка основаны либо на экспериментальных данных, либо на математических моделях, в которых не учитываются постоянно изменяющиеся условия литья: износ роликов, состояние форсунок системы охлаждения и т.п.

В качестве примера рассмотрим эмпирический метод, основанный на расчете толщины нарастающей корочки сляба δ , мм.

$$\delta = k_{охл} \cdot \sqrt{\frac{L_{звО}}{U}},$$

где $k_{охл}$ – коэффициент, зависящий от условий охлаждения, $k_{охл} = 2,6 \dots 3,2$;

U – скорость литья, м/с;

$L_{звО}$ - длина зоны вторичного охлаждения, м, равная

$$L_{3BO} = l_{гор} + \frac{\pi \cdot R}{2}$$

R – радиус радиального участка МНЛЗ, м;

$l_{гор}$ – длина горизонтального участка МНЛЗ, м;

Пример:

Исходные данные: $k_{охл} = 3$; $R = 12$ м; $l_{гор} = 30$ м; $U = 2$ м/мин = 0,033 м/с.

$$\delta = k_{охл} \cdot \sqrt{\frac{L_{3BO}}{U}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{30 + 1,57 \cdot 12}{0,033}} = 115,5 \text{ мм},$$

т.е. наибольшая толщина сляба $H_{сл}$, которая может быть получена на данной МНЛЗ будет равна $H_{сл} = 2 \cdot \delta \approx 230$ мм.

Производительность МНЛЗ может быть определена по формуле:

$$\Pi = 60 \cdot B \cdot H \cdot U \cdot \rho, \text{ т/ч},$$

где B – ширина сляба, м;

H – толщина сляба, м;

U – скорость литья, м/мин.;

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

7. Кристаллизаторы машин непрерывного литья

Назначение – в кристаллизаторе формируется оболочка непрерывно-литой заготовки, от прочности и равномерности толщины которой зависят качество получаемого слитка и скорость разливки.

Формирование оболочки в кристаллизаторе происходит в условиях одновременного действия следующих процессов, которые необходимо учитывать при конструировании:

- теплообмен между затвердевающей корочкой слитка и стенками кристаллизатора;
- усадка затвердевающей корочки по ходу движения слитка и снижения его температуры;
- деформация затвердевающей корочки под действием ферростатического давления и термических напряжений;
- деформация стенок самого кристаллизатора под действием термических напряжений.

Требования к конструкции кристаллизаторов:

- интенсивный отвод тепла от затвердевающего слитка;
- формирование по периметру слитка достаточно прочной корочки, которая по выходе из кристаллизатора должна выдерживать ферростатическое давление жидкой фазы слитка.

По конструкции можно выделить две основные группы кристаллизаторов: сборные и гильзовые.

Сборные кристаллизаторы.

Кристаллизаторы этой группы являются наиболее распространенными. В общем случае они представляют собой четыре медные плиты, каждая из которых для повышения жесткости крепится на стальной плите-каркасе. Собранные вместе и стянутые болтами они образуют сквозную изложницу с медной рабочей поверхностью, расположенную в стальном корпусе (рис. 7.1).

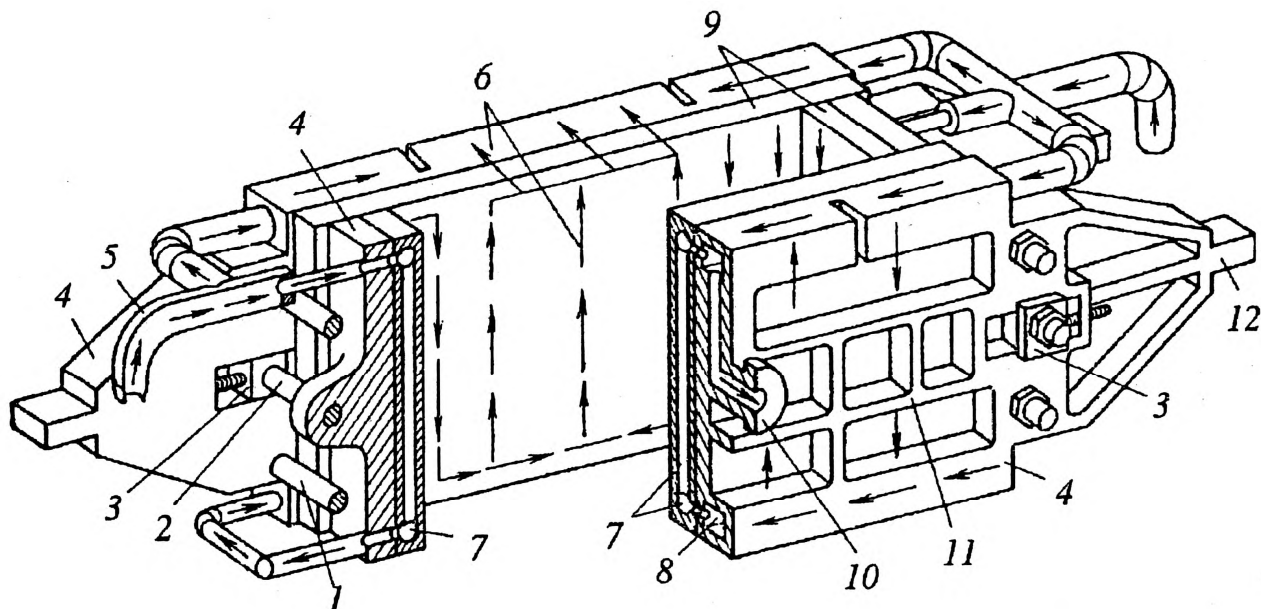


Рис. 7.1. Составной кристаллизатор с петлевой системой охлаждения для отливки плоских слитков:

1 - стяжной болт; 2 и 3 - винтовые механизмы для регулирования положения узкой стенки; 4 - стальные плиты; 5 - водоподводящий коллектор; 6 - направление движения охлаждающей воды; 7 - каналы для воды в медных плитах; 8 - каналы для воды в стальных плитах; 9 - медные плиты; 10 - слив воды; 11 - ребра жесткости стальной плиты; 12 - опора кристаллизатора на раму механизма качания.

Для компенсации деформаций, вызываемых температурными напряжениями, а также для предотвращения образования зазоров по границам плит под стяжные болты устанавливают пружинные компенсаторы.

Каждая стенка кристаллизатора образована медной и стальной плитами, которые стянуты болтовыми соединениями. В медных плитах, толщина которых составляет 25...80 мм, высверлены каналы для прохода воды. Стальные плиты широких стенок выполнены литыми с ребрами жесткости. Они посредством опорных лап крепятся на качающейся раме привода качания кристаллизатора.

Перемещение узких стенок кристаллизатора при его настройке на заданную ширину сляба производят винтовыми или гидравлическими механизмами, которые имеют шарнирную связь со стенками.

Переход на литье слябов другой толщины требует замены узких стенок. Снизу на стенках кристаллизатора расположены продольные и поперечные неприводные ролики, так называемая секция «0» роликовых проводок.

Равномерность и интенсивность охлаждения кристаллизаторов зависят не только от размеров и расположения каналов, но и от системы циркуляции воды. В настоящее время в сборных кристаллизаторах применяют петлевую и прямоточную системы охлаждения.

При петлевой системе движения воды (рис. 7.2) все вертикальные каналы в медных плитах, объединены с помощью коллекторов в секции – две крайние и две средние. В крайние секции входят каналы узких стенок и края широких. Средние секции объединяют все центральные каналы широких стенок.

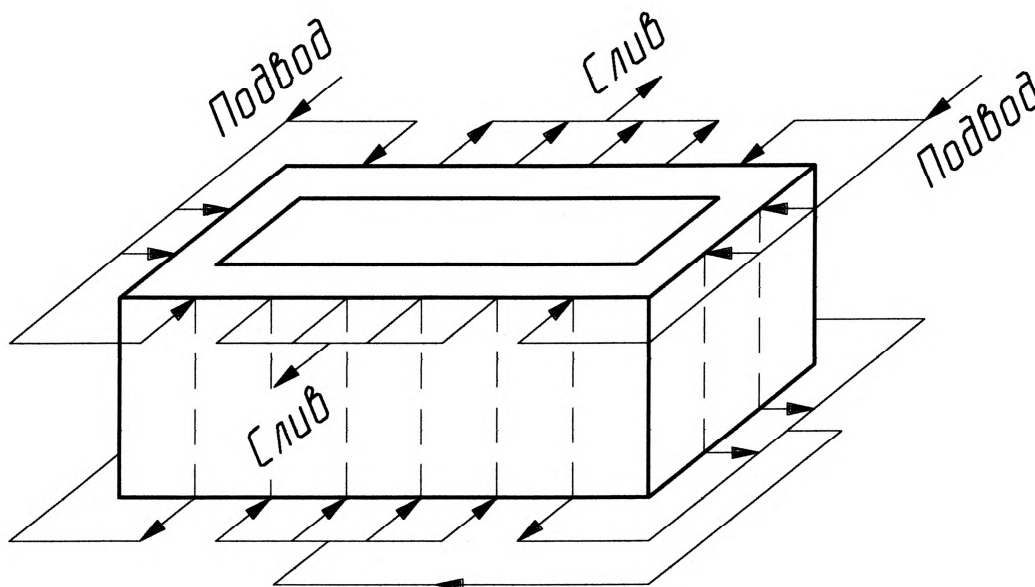


Рис. 7.2. Петлевая схема охлаждения кристаллизатора

Вода подается сверху вниз через крайние секции, затем проходит снизу вверх среднюю секцию и поступает на слив. В этой системе вода дважды проходит по каналам и может нагреваться до критических температур, при которых начинается выпадение осадков на стенках каналов.

Для неочищенной воды критическая температура равна 35...40°C.

Так как расход воды при отливке заготовок крупных сечений достигает 300...400 м³/ч, то достоинством петлевой системы является экономия расхода воды.

При прямоточной системе охлаждения вода поступает к нижним торцам медных плит, проходит по каналам снизу вверх и идет на слив. В результате вода нагревается значительно меньше, охлаждение более эффективное, что позволяет иметь более высокие скорости разливки стали. Нагрев воды до невысоких температур предотвращает выпадение солей на стенках каналов, что увеличивает срок эксплуатации медных плит.

Недостаток прямоточной системы охлаждения – высокий расход воды.

Требования к воде для охлаждения кристаллизаторов:

- давление на входе – 0,8...1,2 МПа;
- давление на выходе – 0,15...0,3 МПа;
- нагрев воды – в пределах 8...12 °С;
- расход воды на 1 метр периметра отливаемого сечения – 150...200 м³/ч;
- карбонатная жесткость воды < 2...5 мг/л;
- содержание взвешенных частиц < 10 мг/л;
- скорость протекания воды – 9...10 м/с.

Высота сборных кристаллизаторов равна 700...1200 мм. Удлиненный кристаллизатор позволяет менять промежуточные ковши без снижения скорости разливки – подача жидкого металла методом «плавка на плавку».

Сборная конструкция кристаллизатора по мере износа поверхности медных плит обеспечивает возможность их ремонтов путем строгания и шлифования рабочей поверхности, что дает экономию меди.

Важной особенностью сборной конструкции кристаллизатора является возможность изменения ширины отливаемой заготовки с помощью электромеханических или гидравлических приводов, причем в последних конструкциях регулировку ширины можно производить, не прерывая процесса разливки. Диапазон регулирования ширины – 0,95...2,8 м при толщине сляба – до 0,25 м.

Гильзовые кристаллизаторы.

Их изготавливают из медных труб с толщиной стенки 5...20 мм (рис. 7.3). Медная гильза вставляется в стальной корпус (рубашку) и крепится в верхней части. Нижняя часть гильзы фиксируется в корпусе с помощью уплотнения, допускающего ее свободное термическое расширение. Коробление гильзы предотвращается также ребрами жесткости в рубашке охлаждения.



Рис. 7.3. Внешний вид гильзовых кристаллизаторов прямоугольной (слева) и круглой (справа) формы

Охлаждение наружной поверхности гильзы происходит при протекании воды через щель между охлаждающей рубашкой и наружной поверхностью гильзы. Ширина щели (зазор) составляет 3...5 мм. Скорость протекания воды в щели должна быть не менее 9...10 м/с.

Гильзовые кристаллизаторы на МНЛЗ применяют при производстве сравнительно небольших сортовых заготовок преимущественно квадратного

и круглого сечения (до 200...250 мм). Гильзовые кристаллизаторы непригодны для разливки заготовок крупных сечений из-за недостаточной жесткости медных тонкостенных гильз. Они не подлежат ремонту или восстановлению в результате износа.

Для выбора материала стенки кристаллизатора необходимо учитывать следующие его физические характеристики:

- теплопроводность;
- температуру рекристаллизации, при которой прочность и твердость материала составляет 50% от исходных значений;
- прочность и твердость материала при температурах 250...450°C.

Наилучший материал – медь с различными легирующими присадками (серебро и др.). Чистая медь не применяется, так как имеет низкую температуру рекристаллизации – 180...200°C. Попытки применить стальные листы толщиной 10 мм приводили к увеличению их температуры со стороны слитка до 400°C из-за пониженной теплопроводности стали, равной $\lambda = 50$ Вт/(м·град). Медная стенка при той же толщине и теплопроводности $\lambda = 380$ Вт/(м·град) имела температуру 180°C. Стальные стенки деформировались и разливка становилась невозможной. В зависимости от физических и химических свойств разливаемого металла для изготовления гильз кристаллизаторов МНЛЗ применяется: рафинированная медь (содержание меди 99,90 % и более), сплав меди с серебром, сплав меди с хромом и цирконием, бериллиевая бронза. Для изготовления стенок блюмовых и слябовых кристаллизаторов обычно применяют сплав меди с серебром. Он имеет твердость НВ90 и теплопроводность $\lambda = 375$ Вт/(м·град). Температура рекристаллизации – 350...370°C. Доля серебра составляет 0,08...0,12%.

Эффективным способом повышения эрозионной стойкости и срока службы кристаллизаторов является нанесение на рабочую поверхность защитных покрытий, которые могут наноситься различными способами: наплавкой, напылением, высокотемпературным осаждением и др. Применяются также гальванические покрытия: хромирование, нанесение тонкой пленки (0,2 мм) чистой меди.

8. Механизмы качания кристаллизатора

Механизм обеспечивает в течение всей разливки возвратно-поступательное движение кристаллизатора вверх-вниз, т.е. вдоль отливаемого слитка. Это необходимо для предотвращения отрыва верхней тонкой части корки от движущегося слитка вследствие трения о стенки кристаллизатора.

Процесс образования корки слитка начинается в верхней части кристаллизатора вблизи мениска жидкого металла (рис. 8.1). Здесь образуется зона плотного контакта корки со стенками кристаллизатора, которая как бы прилипает к ним. Ниже этой зоны затвердевающая корка слитка утолщается и вследствие усадки отходит от стенок кристаллизатора.

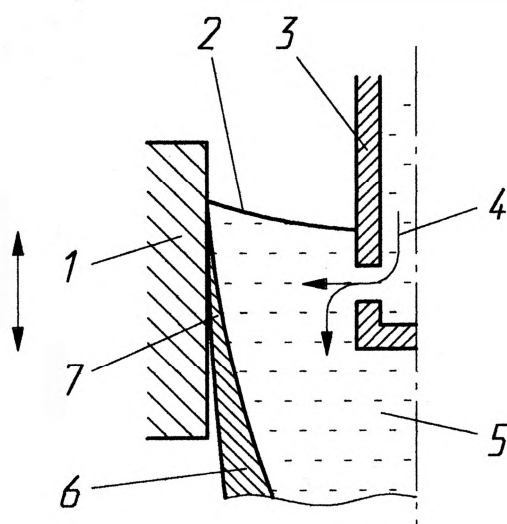


Рис. 8.1. Схема образования корки при непрерывном литье:

1 – кристаллизатор; 2 – уровень жидкого металла в кристаллизаторе (мениск); 3 – стакан-дозатор; 4 – струя жидкого металла; 5 – жидкий металл в сердцевине слитка; 6 – корка затвердевшего металла; 7 – участок образования корки.

Если кристаллизатор будет неподвижным, а слиток будет вытягиваться, то прилипшая верхняя часть корки, оставаясь на месте, может оторваться от нижней части, получившей усадку. Когда разрыв достигнет

нижней кромки кристаллизатора, произойдет выход жидкой стали из сердцевины слитка (прорыв металла).

При возвратно-поступательном движении кристаллизатора, когда он движется вниз (на слиток) со скоростью, превышающей скорость слитка, прилипшая к нему корка, испытывает сжимающие напряжения. Под действием этих напряжений корка отрывается от стенок кристаллизатора (сдвигается вверх). Силы сцепления между ними резко уменьшаются, и при последующем обратном движении кристаллизатора вверх, корка легко скользит по его поверхности, не отрываясь от слитка. В это время образуется новый участок корки слитка, имеющий плотный контакт со стенками кристаллизатора и процесс повторяется. Движение кристаллизатора вверх-вниз осуществляется с различными формами траекторий: синусоидальной, ассиметрично-синусоидальной и пилообразной. Частота колебаний – до 400 в минуту, амплитуда – до 20 мм. Существует несколько типов механизмов качания кристаллизатора. Наибольшее применение находят эксцентрикковые механизмы с электромеханическим приводом или с приводом от гидромоторов, а также линейные механизмы с приводом от сервоцилиндров. На рис. 8.2 показан эксцентрикковый механизм качания с электромеханическим приводом параллелограмного типа. Параметры шарнирного четырехзвенника выбирают с таким расчетом, чтобы отклонение траектории движения кристаллизатора от дуги с радиусом R не превышало $\pm 0,3$ мм. Амплитуду качаний регулируют изменением величины эксцентриситета, а частоту – электродвигателем или гидромотором. В последнее время находят применение линейные механизмы с приводом от сервоцилиндров (рис. 8.3 и 8.4).

Частота и амплитуда колебаний механизма качания зависят от скорости литья и могут рассчитываться по эмпирической формуле:

$$\nu = 244 \frac{U}{a}, \text{ мин}^{-1},$$

где a – амплитуда качаний, мм;

U – скорость литья, м/мин.

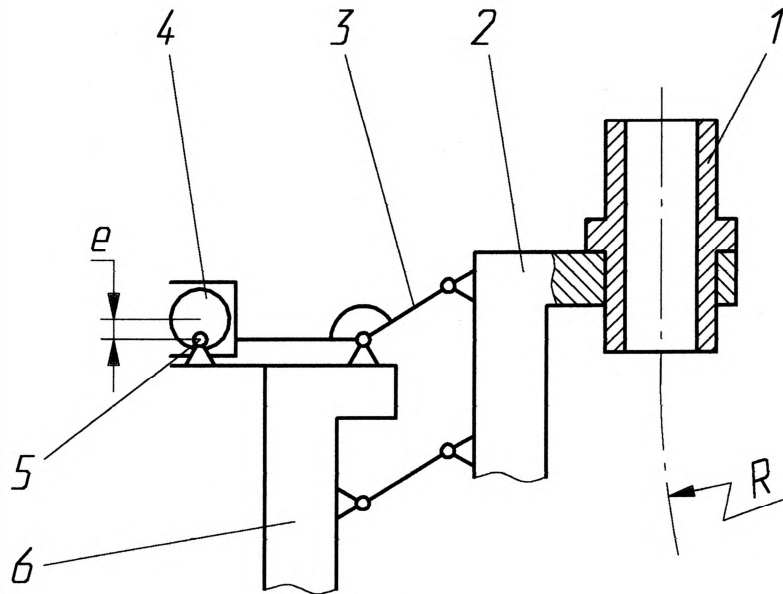


Рис. 8.2. Кинематическая схема эксцентрикового механизма качания:
 1 - кристаллизатор; 2 - качающаяся рама; 3 - двухплечий рычаг с вилкой;
 4 - эксцентрик; 5 - ось вращения эксцентрика; 6 - опора (основание).

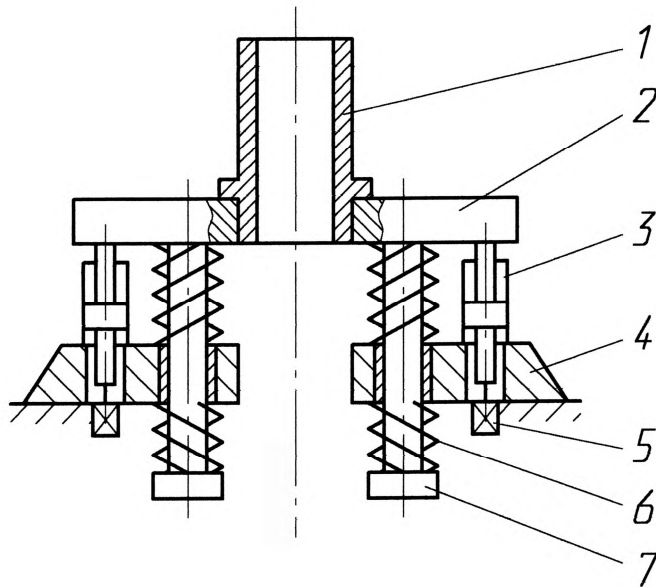


Рис. 8.3. Схема линейного механизма качания:
 1 - кристаллизатор; 2 - рама кристаллизатора; 3 - сервоцилиндр; 4 - опора
 (основание); 5 - датчик перемещений; 6 - пружинный амортизатор;
 7 - направляющая.

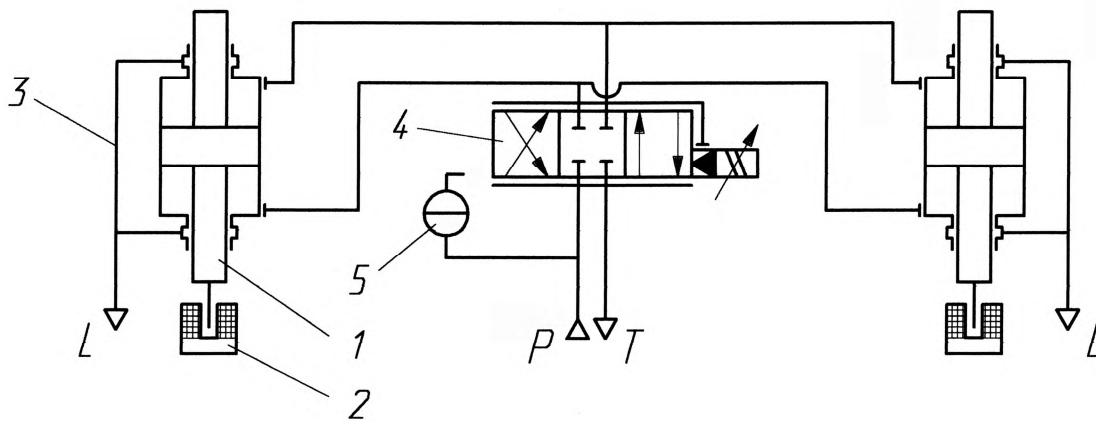


Рис. 8.4. Принципиальная гидравлическая схема управления сервоцилиндра
 $\text{Ø}118/80\text{-}20$, давление – 28 МПа:

1 - сервоцилиндр; 2 - датчик перемещения поршня (индуктивный); 3 - слив утечек; 4 - гидрораспределитель с пропорциональным управлением и обратной связью по положению; 5 - аккумулятор.

Силу трения поверхности слитка (корки) о стенки кристаллизатора можно определить по формуле (для линейного распределения ферростатического давления по высоте):

$$F_{\text{тр}} = 0,5 \cdot f \cdot \Pi \cdot l_k \cdot p_{\phi},$$

где f – коэффициент трения слитка о стенки кристаллизатора, $f = 0,47 \dots 0,58$;

Π - периметр сечения кристаллизатора (слитка), м;

l_k – высота контактной поверхности металла со стенками, м;

p_{ϕ} - ферростатическое давление в конечной точке контакта слитка с кристаллизатором, равное (рис. 8.5)

$$p_{\phi} = \frac{G_{;ж}}{A_{ж}} = \frac{V_{ж} \cdot \gamma_{ж}}{A_{ж}} = \frac{(A_{жс} \cdot l_k) \cdot (\rho_{жс} \cdot g)}{A_{жс}} = l_k \cdot \rho_{жс} \cdot g$$

Здесь $G_{ж}$ – сила тяжести столба жидкой стали высотой l_k ,

$A_{ж}$ – площадь вытягиваемого слитка,

$V_{ж}$ – объем столба жидкой стали высотой l_k ,

$\gamma_{ж}$ - удельный вес жидкой стали,

$\rho_{ж}$ – плотность жидкой стали, $\rho_{ж} = 7000 \text{ кг/м}^3$;

g – ускорение свободного падения.

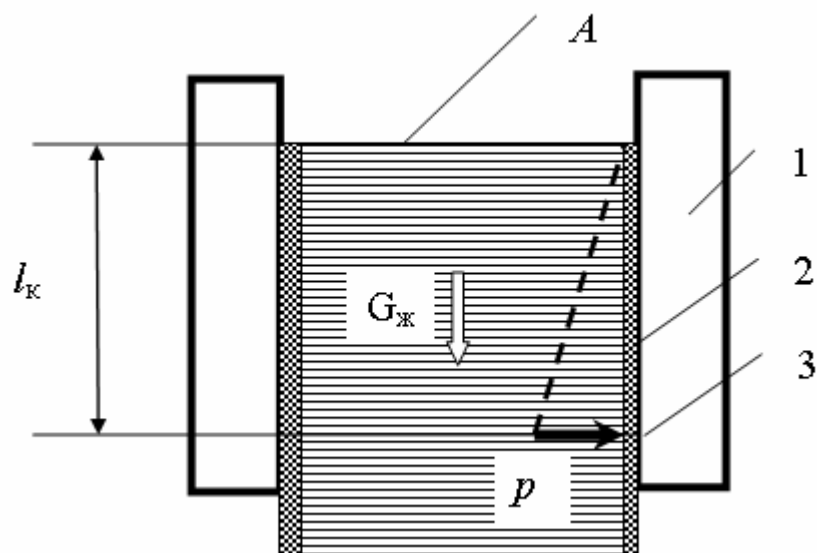


Рис. 8.5. Схема определения ферростатического давления:

1 – кристаллизатор, 2 – корочка, 3 - конечная точка контакта слитка с кристаллизатором.

После подстановки получим:

$$F_{тр} = 0,5 \cdot f \cdot \Pi \cdot (l_k)^2 \cdot \rho_{ж} \cdot g,$$

Тогда усилие, действующее на раму кристаллизатора, будет равно:

$$F_{рама} = F_{выт} \pm G_{кр}.$$

Здесь $G_{кр}$ – сила тяжести кристаллизатора с охлаждающей водой и рамой (+ при движении вверх, – при движении вниз);

$F_{выт}$ – усилие вытягивания слитка из кристаллизатора, которое определяется по формуле

$$F_{выт} = F_{тр} \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий износ (приработку) стенок кристаллизатора, $k_1 = 1,5 \dots 2,0$; k_2 – коэффициент, учитывающий химический состав сплава; $k_2 = 0,6 \dots 0,7$ – для малоуглеродистой стали; $k_2 = 1,7 \dots 1,8$ – для стали среднеуглеродистой (сталь 45).

9. Роликовые проводки МНЛЗ

Роликовые проводки предназначены для предотвращения деформации (выпучивания) тонкой затвердевающей корочки слитка и его перемещения в процессе литья. Они размещаются на участке вторичного охлаждения и выполняются в виде секций, объединяющих в одном каркасе от двух до десяти роликов, внутри которых движется слиток.

Верхняя часть проводки, расположенная на расстоянии до 2,5...3,5 м от уровня металла в кристаллизаторе, выполняется неприводной, т.к. прочность корочки слитка еще невелика и не может быть использована для вытягивания слитка. Далее следуют секции, в которых часть роликов является приводными. Количество приводных роликов в секциях увеличивается по мере отдаления от кристаллизатора, а на горизонтальном участке все нижние ролики делают приводными, как у рольгангов. На стыке радиального и горизонтального участков, где происходит разгибка (выпрямление) слитка, устанавливают правильно-тянущую секцию с наибольшим количеством приводных роликов. Точность установки роликов в пределах $\pm 0,3$ мм.

Прочность корочки слитка, выходящего из кристаллизатора, невелика, поэтому для предупреждения ее выпучивания и разрыва за кристаллизатором устанавливают неприводную роликовую проводку (секцию), снабженную продольными и поперечными роликами, расположенными напротив четырех граней слитка. Ролики этой секции по сравнению с последующими имеют меньший диаметр (150...200 мм) и расположены близко друг к другу.

В связи с необходимостью точного расположения роликов по отношению к технологической оси МНЛЗ и вероятностью прорыва жидкого металла к неприводной роликовой секции предъявляют определенные требования: простота конструкции и ее установки, возможность регулирования положения и быстрой замены.

На рис. 9.1 показана секция неприводной роликовой проводки, корпус 1 которой выполнен разъемным с опорами на несущую раму 5 лапами 14. Регулирование положения корпуса по оси МНЛЗ производят клиновым

механизмом 16 и пружинно-винтовым устройством с конической пружиной 6 и регулировочным винтом 7. После выверки корпус закрепляют на раме фиксаторами 15.

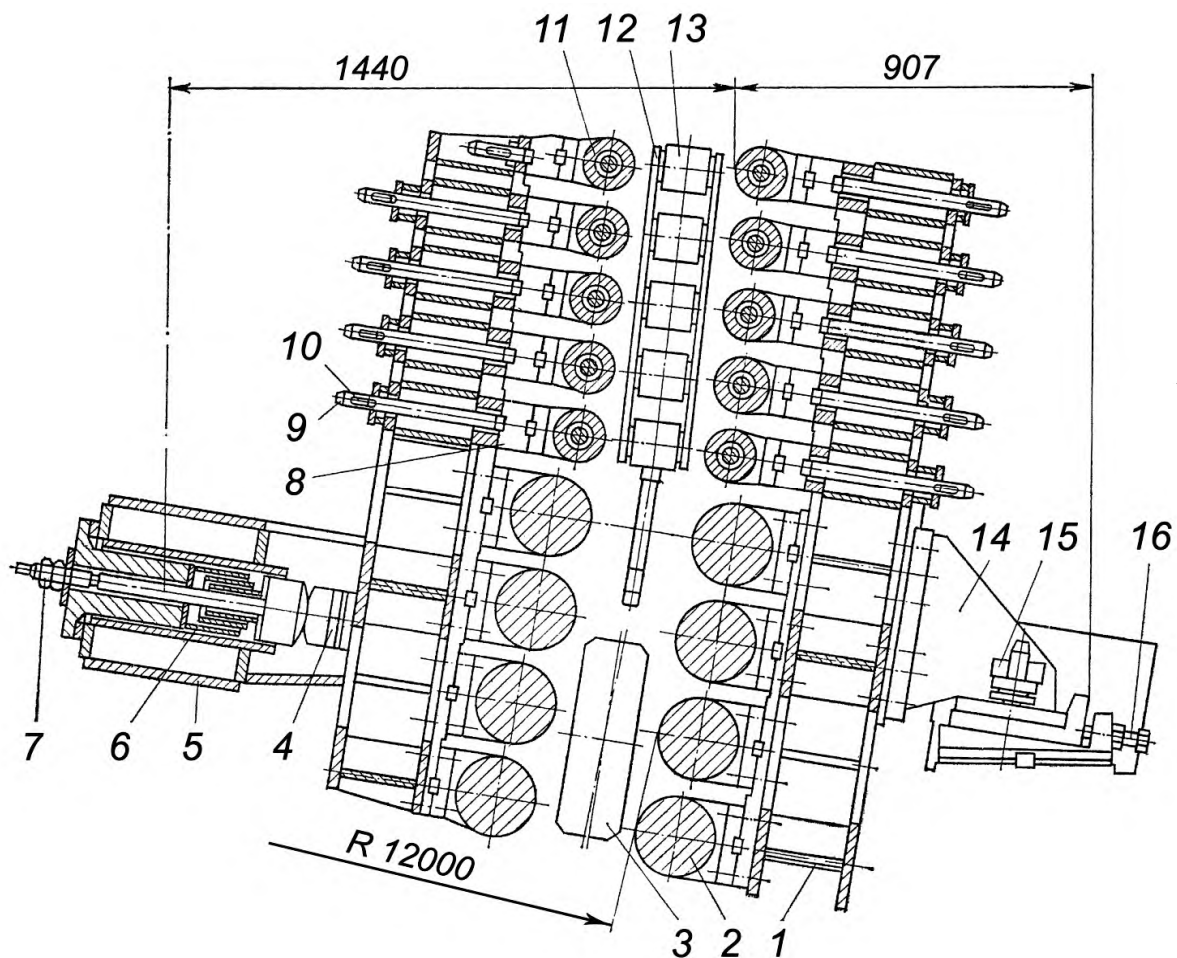


Рис. 9.1. Неприводная роликовая проводка:

- 1 - корпус; 2 - ролик большого диаметра; 3 - башмак направляющий; 4 - пята опорная; 5 - рама несущая; 6 - пружина коническая; 7 - винт регулировочный; 8 - планка; 9 - тяга; 10 - замок клиновой; 11 - ролик малого диаметра; 12 - кассета роликовая; 13 - ролик боковой; 14 - лапа опорная; 15 - фиксатор; 16 - клиновой механизм.

В верхней части корпуса по каждой широкой грани слитка установлены в два ряда ролики 11 малого диаметра и в нижней части – ролики 2 большого диаметра. Ролики малого диаметра, как правило, выполняют ребристыми. Опоры их осей соединены с планками 8, которые посредством тяг 9 и клиновых замков 10 закреплены на корпусе 1. Такая

конструкция обеспечивает быструю замену роликов малого диаметра. Опоры осей роликов большого диаметра закреплены на корпусе с помощью закладных шпонок и болтов.

Для обеспечения минимального прогиба роликов малого диаметра их часто выполняют составными из отдельных коротких роликов, установленных в ряд по всей ширине слитка с промежуточными опорами (рис. 9.2). Каждый отдельный ролик имеет один фиксированный, а второй плавающий в осевом направлении подшипник. Для роликового узла с тремя роликами требуется шесть подшипников. В роликовом узле со сквозной осью подшипники устанавливают по обоим концам, а один – посередине.

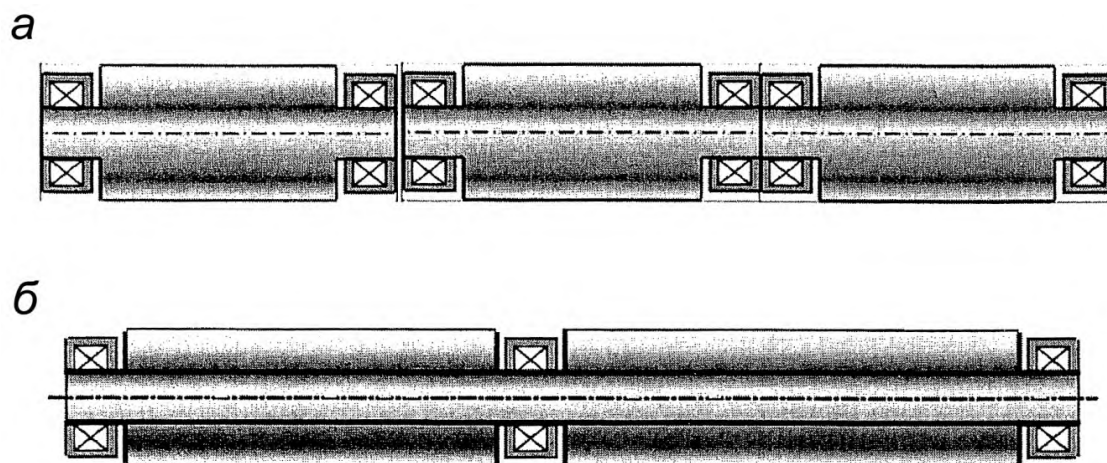


Рис. 9.2. Ролик с шестью (а) и с тремя (б) подшипниками

Против узких граней слитка в верхней части корпуса неприводной проводки устанавливают боковые направляющие ролики в кассетах. В нижней части корпуса вместо роликов применяют направляющие башмаки. Переход с одной ширины отливаемого слитка на другую осуществляют перемещением боковых роликов и башмаков.

При переходе с одной толщины отливаемого слитка на другую производят замену промежуточных пластин, установленных в разъемах корпуса, а также изменяют толщину опорной пяты пружинно-винтового устройства.

Ролики неприводной секции постоянно находятся в прямом контакте с горячим непрерывно-литым слитком, выходящим из кристаллизатора, и

испытывают длительные тепловые и механические нагрузки, которые приводят к их повреждениям в виде разгара поверхности и раковин. Высокий процент аварийных замен роликов в большинстве случаев связан с недостатками их охлаждения, вызванными ненадежностью устройств для подвода охлаждающей воды.

Узел подвода воды к вращающемуся ролику фактически является шарнирным гидравлическим соединением, которое должно обеспечивать необходимый расход воды и герметичность для исключения нарушений режима охлаждения. Современная конструкция устройства для подвода охлаждающей воды с креплением к торцу подушки подшипникового узла ролика и выносом элементов уплотнения за пределы подушки показана на рис. 9.3.

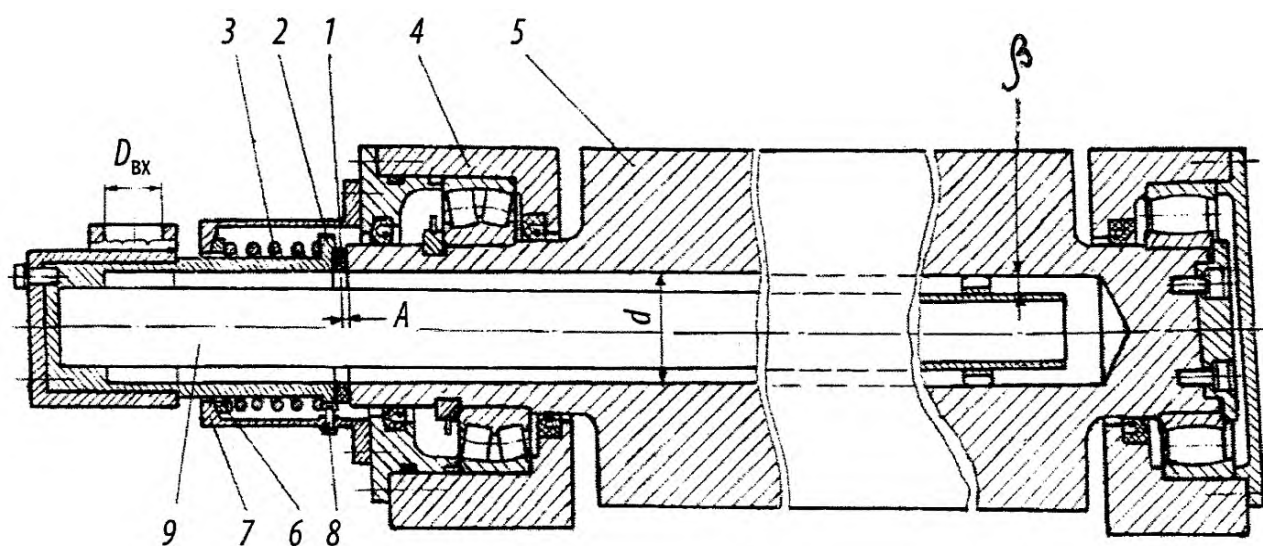


Рис. 9.3. Устройство подвода охлаждающей воды через невращающуюся трубу:

- 1 – уплотнение торцевое; 2 – держатель; 3 – пружина; 4 – подушка; 5 – ролик;
- 6 – подпятник сферический; 7 – корпус; 8 - штифт;
- 9 – труба центральная невращающаяся.

Рассматриваемая конструкция относится к двухпоточной схеме охлаждения с подводом воды через невращающуюся центральную трубу 9 и возвратом через кольцевую щель β при непосредственном контакте с внутренним диаметром ролика d . Стык между вращающейся 5 и

стационарной 2 частями выполнен в виде торцевого уплотнения. Необходимое давление герметизации (0,5...0,6 МПа) обеспечивается пружиной 3, усилие которой через сферический подпятник 6 и корпус 7 замыкается на подушку 4. Фиксация от поворота держателя 2 относительно корпуса 7 осуществляется штифтом 8. Характеристика пружины должна учитывать выталкивающее усилие давления охлаждающей воды, а также тепловое удлинение ролика 5.

Сферическое соединение 6 и 7 компенсирует неизбежные на практике углы между осями подшипников и расточек в подушках для их установки.

На рис.9.4 показана роликовая секция с гидравлическим прижимом роликов. Секция состоит из нижней сварной неподвижной рамы 2, на которой закреплены нижние неприводные ролики 6, и верхней подвижной рамы 7, на которой закреплены верхние неприводные ролики (не показаны) и приводной прижимной ролик 4 с независимым приводом перемещения посредством гидроцилиндров 8.

Гидроцилиндры 9 перемещают раму 7 вместе с верхними роликами для установки с помощью прокладок 10 фиксированного зазора между роликами соответственно толщине отливаемого слитка. Этими гидроцилиндрами также осуществляется быстрый отвод роликов от слитка при настройке МНЛЗ и аварийных ситуациях (пропуск захоложденного слитка, наплывов на его поверхности и др.).

Приводной ролик 4 используется при вводе в машину затравки, толщина которой может быть меньше отливаемого слитка. Применение гидроцилиндров для прижима роликов упрощает настройку МНЛЗ.

После неприводных проводок установлены приводные роликовые проводки, предназначенные для предупреждения выпучивания корочки слитка, перемещения слитка вдоль технологической оси МНЛЗ и его выпрямления (правки) перед участком резки.

Ролики приводных секций имеют больший диаметр (450...600 мм), чем на неприводных и размещаются на больших расстояниях друг от друга. В связи с наличием жидкой фазы в слитке приводная роликовая проводка

должна обеспечивать минимальные усилия со стороны роликов на корочку при вытягивании слитка, его разгибке и пропуске наплывов на его поверхности.

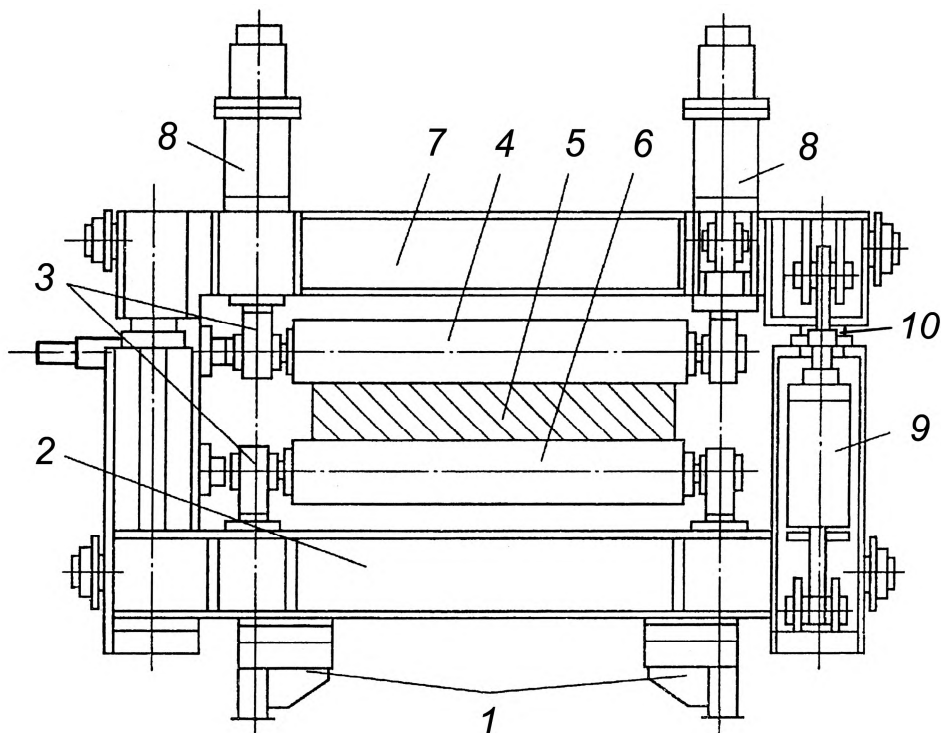


Рис. 9.4. Роликовая секция с гидравлическим прижатием роликов:

- 1 – фундаментные балки; 2 – нижняя базовая рама; 3 – подшипниковые узлы;
- 4 – верхний приводной ролик; 5 – слиток; 6 – нижний неприводной ролик;
- 7 – подвижная рама; 8 – гидроцилиндры прижима верхнего ролика;
- 9 – цилиндры фиксации раствора между роликами; 10 – прокладки.

В зависимости от типа механизма прижатия верхних роликов различают секции с пружинно-винтовыми и гидравлическими механизмами.

Применение гидравлических механизмов позволило значительно уменьшить перегрузку и количество поломок роликов при пропуске захоложенного слитка и наплывов на его поверхности, ускорить перестройку МНЛЗ на литье слитков различной толщины, упростить процесс ввода затравки перед началом процесса литья.

На рис. 9.5 показана конструкция четырехроликовой секции с гидравлическим механизмом перемещения и прижатия верхних роликов.

Подшипниковые опоры нижних роликов установлены на плите 7, опоры верхних роликов прикреплены к подвижной траверсе 1, которая балансирами соединена со штоками гидравлических цилиндров 9.

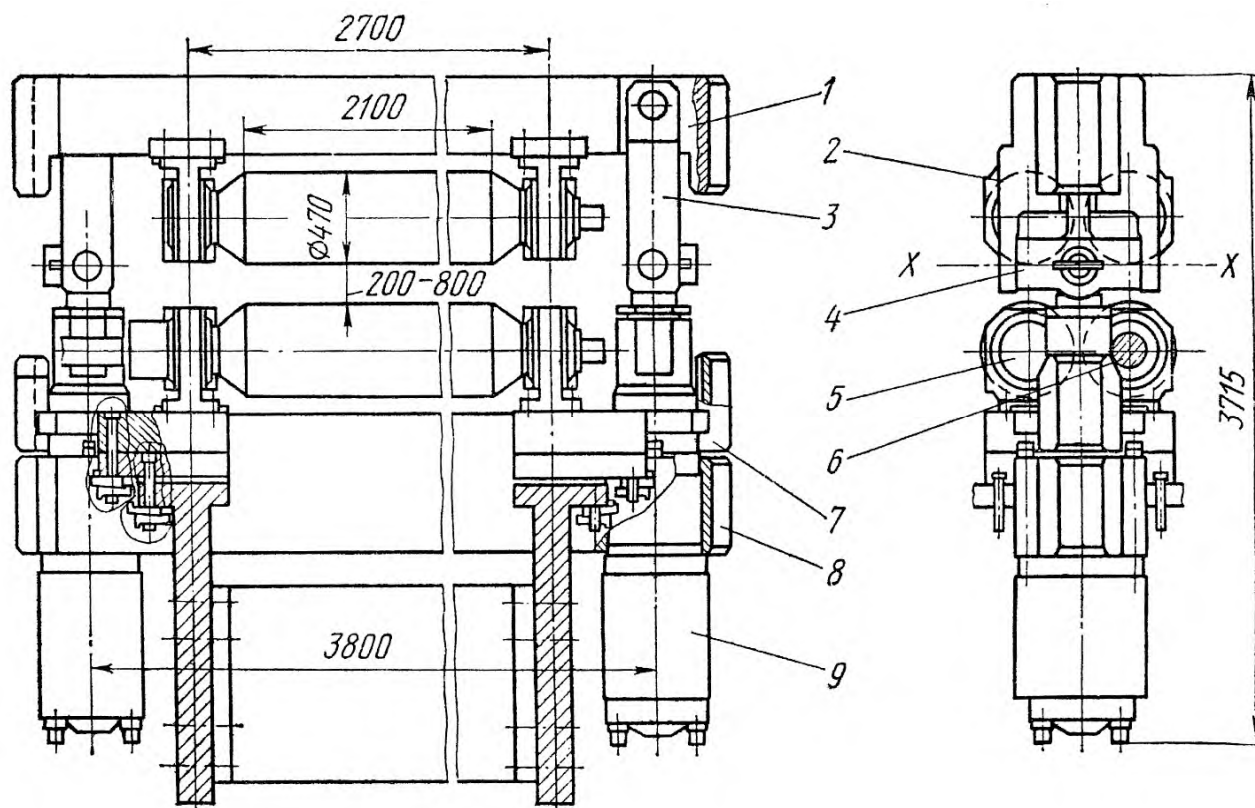


Рис. 9.5. Четырехроликковая секция конструкции ВНИИметмаша:

1 – траверса; 2 – верхний неприводной ролик; 3 – серьга; 4 – балансир; 5 – неприводной нижний ролик; 6 – приводной нижний ролик; 7 – плита опорная; 8 – рама; 9 – гидроцилиндр.

Применение балансиров с цилиндрическими шарнирами, расположенными в плоскости X-X нижних образующих верхних роликов обеспечивает равномерное распределение усилий между ними. Для установки фиксированного зазора между нижними и верхними роликами соответственно толщине отливаемого слитка на цилиндрах предусмотрены регулируемые проставки. Этими гидроцилиндрами также осуществляется быстрый отвод роликов от слитка при настройке МНЛЗ и аварийных ситуациях (пропуск захоложденного слитка, наплывов на его поверхности и др.).

Ролики изготавливают из сталей типа 15ХМ1Ф, 34ХН1М, сохраняющих работоспособность при длительном контакте с горячим слитком. В последние годы стали применять ролики из вязкой низколегированной стали с наплавкой поверхности высоколегированной стали. Привод секции осуществляется либо от электродвигателя, соединенного редуктором и шпинделем, либо от мотор-редуктора, смонтированного на валу приводного ролика. Внутреннее охлаждение роликов приводных проводок осуществляют по двухпоточной схеме. При этом, поскольку ролики имеют значительно больший диаметр, устройство для подвода охлаждающей воды можно выполнить из 2-х концентрично расположенных труб: внешней и внутренней, которые вращаются вместе с роликом (рис. 9.6). Внутренняя труба крепится к внешней трубе 2 с помощью резьбовой втулки 10. Внешняя труба размещается в стационарном корпусе 6 и уплотняется графитовыми втулками 3 и 9.

Для настройки положения роликов в правильно-тянущей секции роликовых проводок можно использовать зависимость между радиусом изгиба слитка R , его прогибом e и шагом установки роликов t , которая имеет вид:

$$R = \frac{t^2}{16 \cdot e}.$$

При выпрямлении слитка, чтобы не было прорыва жидкой фазы (образования трещин), относительная деформация однократного изгиба не должна превышать 0,2...0,3% на его поверхности.

Ее величину определяем по уравнению относительной деформации слитка толщиной H при изгибе:

$$\varepsilon = \frac{H}{2 \cdot R_i}$$

Используя это выражение, последовательно находим промежуточные значения радиусов изгиба слитка R_i при выпрямлении, а по ним величины необходимых прогибов, по которым устанавливаем положения роликов.

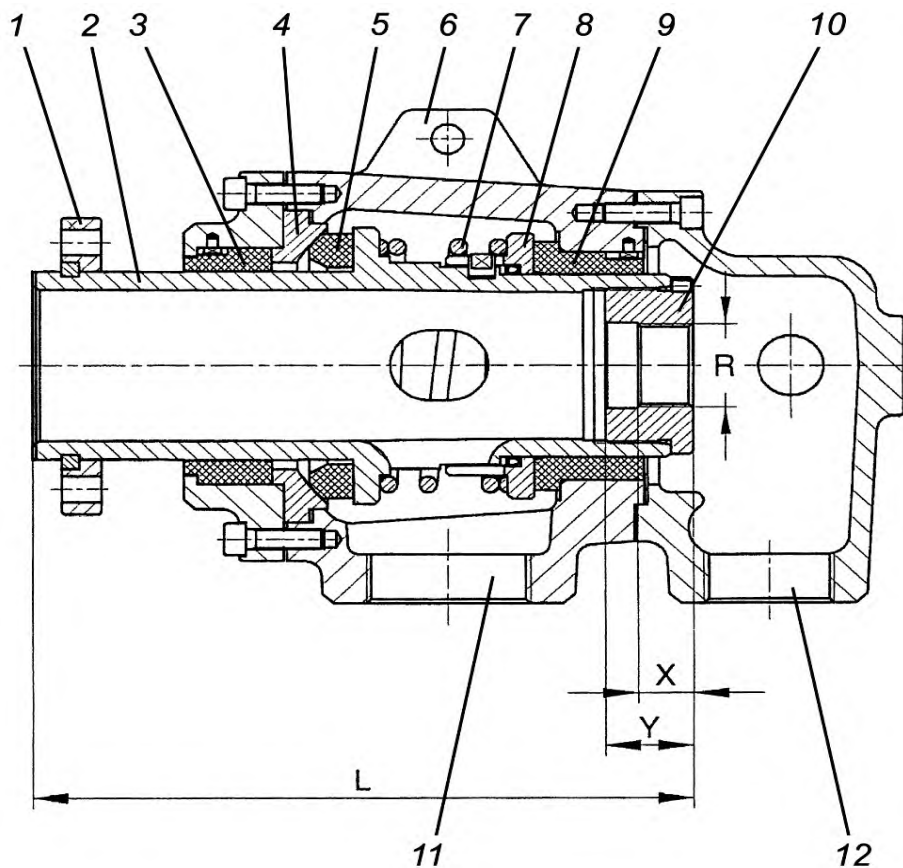


Рис. 9.6. Устройство подвода охлаждающей воды через вращающуюся трубу:
 1 – фланец соединительный; 2 – внешняя труба; 3 – подшипник скольжения;
 4 – подпятник сферический; 5 – уплотнение; 6 – корпус; 7 – пружина;
 8 – разделительная втулка; 9 – подшипник скольжения; 10 – втулка
 крепления внутренней трубы; 11 – входной патрубок; 12 – выходной
 патрубок.

Расчет мощности приводов роликовых проводок проводят с учетом деформации пластического изгиба при выпрямлении слитка и необходимости преодоления сопротивлений трения при движении слитка.

Момент пластического изгиба слитка с учетом наличия жидкой фазы определяется по формуле:

$$M_u = 0,25 \cdot \sigma_s \cdot (B \cdot H^2 - b_{ж} h_{ж}^2),$$

где σ_s – предел текучести материала слитка при температуре выпрямления;

B и H – ширина и толщина слитка;

$b_{жс}$ и $h_{жс}$ – ширина и толщина жидкой фазы слитка в зоне выпрямления, рассчитываемые по формуле роста толщины корочки сляба.

Тогда крутящий момент $M_{раз}$, необходимый для разгиба (выпрямления) слитка, приведенный к роликам проводки, будет равен:

$$M_{раз} = \frac{M_u \cdot d_p}{2 \cdot R},$$

где R – радиус радиального участка МНЛЗ;

d_p - диаметр роликов проводки на участке изгиба слитка.

Крутящий момент $M_{выт}$, необходимый для вытягивания слитка роликами проводки из кристаллизатора, определяется по формуле:

$$M_{выт} = 0,5 \cdot F_{выт} \cdot d_p,$$

где $F_{выт}$ – усилие вытягивания слитка из кристаллизатора (см. п.8).

Крутящий момент, необходимый для преодоления сил трения при вращении роликов проводки, определяется по формуле:

$$M_{тр} = F_{\Sigma} \cdot \left(\mu + f \frac{d_w}{2} \right) = (F_{приж} + G_{сл} + G_{рол}) \cdot \left(\mu + f \frac{d_{ц}}{2} \right),$$

где F_{Σ} - суммарное усилие, действующее на ролики проводок;

$F_{приж}$ – усилие гидроцилиндров прижима роликов, которое в правильно-тянущей секции должно превышать усилие, необходимое для выпрямления слитка;

$G_{сл}$ – сила тяжести слитка, находящегося в роликовых проводках;

$G_{рол}$ – сила тяжести роликов;

μ – коэффициент трения качения горячего слитка по роликам, $\mu = 0,01 \dots 0,02$ м;

f – коэффициент трения в подшипниковых опорах роликов;

$d_{ц}$ – диаметр цапф в опорах роликов.

Общая мощность электроприводов роликовых проводок определяется по формуле:

$$P_{\Sigma} = \frac{(M_{раз} + M_{выт} + M_{тр}) \cdot n}{9550 \cdot \eta},$$

где n – частота вращения роликов;

η – КПД механизмов привода.

На основании полученного значения общей мощности электроприводов в соответствии с размещением приводных роликов производят ее распределение по секциям роликовых проводок.

10. Расчет мощности электропривода роликовых проводок

При расчете необходимо учитывать расположение секций приводных роликовых проводок на технологической линии МНЛЗ, которая состоит из следующих участков: радиального, выпрямления (разгибки) и горизонтального прямолинейного.

На радиальном участке момент и мощность привода роликов определяют с учетом действия ферростатического давления жидкого металла, силы тяжести слитка и веса роликов.

На участке выпрямления слитка расчет мощности приводов роликов выполняют с учетом момента пластического изгиба при выпрямлении слитка, его силы тяжести и веса роликов.

На горизонтальном участке проводки мощность привода роликов определяют аналогично движению слитка по транспортному рольгангу, то есть с учетом силы тяжести слитка и веса роликов.

При инженерных расчетах вначале задаются размерами и количеством роликов в секциях проводок, имеющих в большинстве случаев на радиальном участке четырехроликую конструкцию, один из которых выполняется приводным (рис. 10.1).

Усилие F_{ϕ} от действия ферростатического давления на ролики одной секции по широкой поверхности слитка равно:

$$F_{\phi} = p_{\phi} \cdot A_{\phi},$$

где A_{ϕ} - площадь поверхности слитка в пределах роликовой секции, находящаяся под действием ферростатического давления;

p_{ϕ} – ферростатическое давление жидкого металла.

Ферростатическое давление жидкого металла на радиальном участке определяется по формуле (см. п.8)

$$p_{\phi} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot R \cdot \sin \alpha$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой стали, $\rho_{\text{ж}} = 7000 \text{ кг/м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h – расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до середины слитка в роликовой секции, $h = R \cdot \sin \alpha$;

α – угол, определяющий положение середины слитка в роликовой секции по отношению к уровню жидкого металла в кристаллизаторе (угол, определяющий положение секции на радиальном участке).

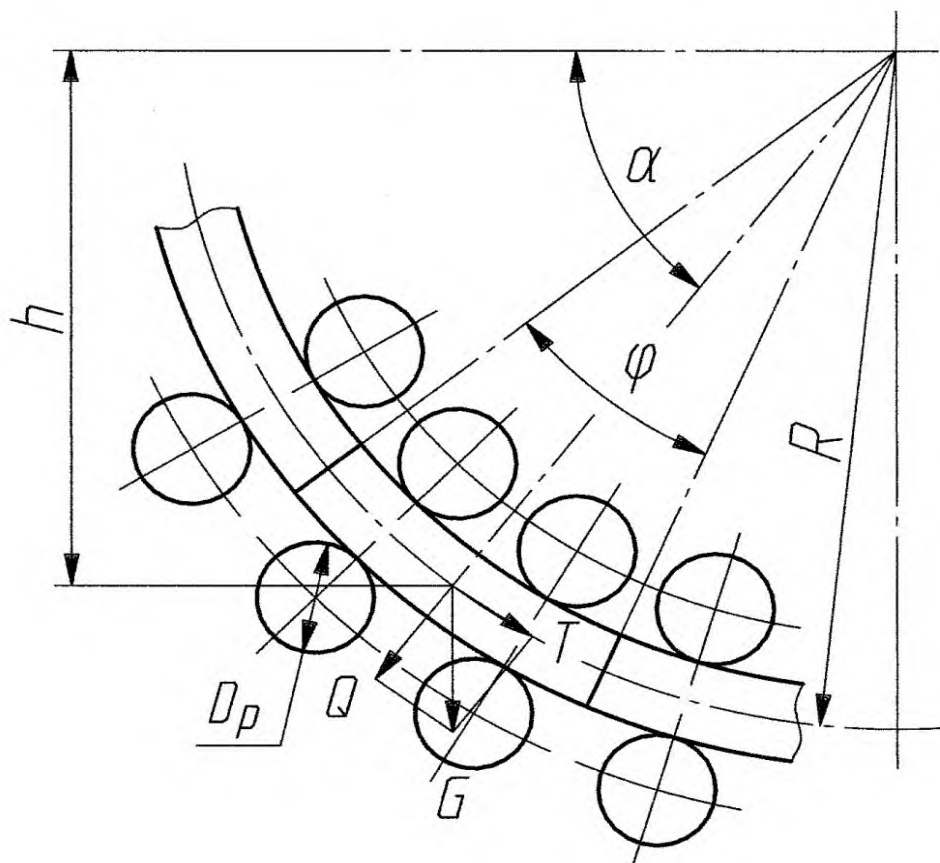


Рис. 10.1. Расчетная схема секции радиального участка роликовой проводки

Площадь поверхности слитка в пределах роликовой секции, находящаяся под действием ферростатического давления, равна

$$A_{\phi} = (B - 2 \cdot \delta) \cdot R \cdot \phi$$

где B – ширина слитка;

δ – толщина корочки слитка;

R – радиус кривизны радиального участка;

ϕ – угол, определяющий длину слитка в пределах роликовой секции.

Величина $(B - 2 \cdot \delta)$ – ширина жидкой фазы слитка.

Сила тяжести слитка в пределах роликовой секции равна

$$G_{\text{сл}} = B \cdot H \cdot L \cdot \rho \cdot g,$$

где B и H – ширина и толщина слитка;

$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали после затвердевания;

L – длина слитка в пределах роликовой секции, $L = R \cdot \varphi$.

Тогда нормальная составляющая силы тяжести слитка, направленная по радиусу кривизны, и окружная составляющая, направленная по касательной к дуге радиального участка, будут равны:

$$Q = G \cdot \sin \alpha, \quad T = G \cdot \cos \alpha.$$

Полное усилие, действующее на опоры нижних роликов секции:

$$F_{\text{нр}} = F_{\text{ф}} + Q + z_{\text{нр}} \cdot G_{\text{нр}},$$

где $z_{\text{нр}}$ – количество нижних роликов в секции;

$G_{\text{нр}}$ – сила тяжести нижнего ролика.

Полное усилие, действующее на опоры верхних роликов секции:

$$F_{\text{вр}} = F_{\text{ф}} - z_{\text{вр}} \cdot G_{\text{вр}},$$

где $z_{\text{вр}}$ – количество верхних роликов в секции;

$G_{\text{вр}}$ – сила тяжести верхнего ролика.

Крутящий момент, необходимый для вращения нижних роликов секции:

$$M_{\text{нр}} = (F_{\text{ф}} + Q) \cdot \mu + F_{\text{нр}} \cdot f \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2}$$

где μ – коэффициент трения качения горячего слитка по роликам,

$\mu = 0,01 \dots 0,02$ м;

f – коэффициент трения в опорных цапфах роликов, $f = 0,008 \dots 0,012$
для роликовых подшипников качения;

$d_{\text{ц}}$ – диаметр цапфы роликов.

Крутящий момент, необходимый для вращения верхних роликов секции:

$$M_{\text{вр}} = F_{\text{ф}} \cdot \mu + F_{\text{вр}} \cdot f \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2}$$

Крутящий момент окружной составляющей силы тяжести слитка, помогающий вращению роликов:

$$M_{сл} = T \cdot \frac{D_{рол}}{2},$$

где $D_{рол}$ – диаметр роликов.

Тогда полный крутящий момент на приводном ролике i -секции радиального участка будет равен:

$$M_i = M_{нр} + M_{вр} - M_{сл}.$$

Мощность электродвигателя привода роликов i -секции определяется по формуле:

$$P_i = \frac{M_i \cdot n}{9550 \cdot \eta},$$

где n – частота вращения роликов;

η – к.п.д. механических передач привода.

На участке выпрямления слитка расчет мощности привода роликов необходимо проводить с учетом деформации пластического изгиба при выпрямлении слитка и преодоления сопротивлений трения при его движении. При этом ферростатическое давление жидкой фазы можно не учитывать, так как температура слитка на этом участке существенно ниже температуры плавления, толщина жидкой фазы в середине слитка невелика или отсутствует, а прочность корочки становится достаточной, чтобы препятствовать выпучиванию широких граней слитка. Тогда момент пластического изгиба слитка равен:

$$M_{изг} = \sigma_s \cdot \frac{B \cdot H^2}{4},$$

где σ_s – предел текучести материала слитка при температуре выпрямления.

Крутящий момент $M_{рол}$, необходимый для привода роликов при выпрямлении слитка в секции выпрямления определяем из уравнения работы, затрачиваемой на пластическую деформацию, т.е.:

$$M_{изг} \cdot \varphi = M_{рол} \cdot \beta$$

где β – угол поворота роликов секции, соответствующий длине находящегося в ней слитка L . Тогда

$$M_{рол} = M_{изг} \cdot \frac{D_{рол}}{2 \cdot R},$$

Усилие, действующее на опоры роликов при пластическом изгибе, равно:

$$F_{рол} = \frac{M_{бпу}}{t},$$

где t – шаг роликов в секции.

Крутящий момент, необходимый для преодоления сопротивления вращению нижних роликов секции:

$$M_{нр} = (F_{рол} + G) \cdot \mu + (F_{рол} + G + z_{нр} \cdot G_{нр}) \cdot f \cdot \frac{d_{ц}}{2}$$

Крутящий момент, необходимый для преодоления сопротивления вращению верхних роликов секции

$$M_{вр} = F_{рол} \cdot \mu + (F_{рол} - z_{вр} \cdot G_{вр}) \cdot f \cdot \frac{d_{ц}}{2}$$

Суммарный крутящий момент на приводных роликах i -секции участка выпрямления равен:

$$M_i = M_{нр} + M_{вр} + M_{рол}$$

На горизонтальном участке момент и мощность привода роликов определяют по вышеприведенным формулам без учета факторов пластической деформации.

Пример расчета мощности электроприводов роликовых провадок МНЛЗ.

1. Исходные данные.

$B = 1,6$ м; $H = 0,2$ м; $R = 12$ м; $D_{рол} = 0,4$ м; $d_{ц} = 0,15$ м; $U = 0,025$ м/с; $\sigma_s = 68$ МПа; $\alpha = 30^\circ = 0,523$ рад.; $\varphi = 5^\circ = 0,0872$ рад.; $k_{охл} = 2,9$ - температура материала на участке выпрямления 900°C .

2. Привод секции радиального участка.

Расстояние от уровня металла в кристаллизаторе до середины слитка в секции равно:

$$h = R \cdot \sin \alpha = 12 \cdot 0,5 = 6 \text{ м.}$$

Ферростатическое давление жидкого металла на ролики секции:

$$p_{\phi} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h = 7000 \cdot 9,81 \cdot 6 = 412000 \text{ Па} = 412 \text{ кПа.}$$

Толщина корочки слитка в секции:

$$\delta = k_{\text{окси}} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot \alpha}{U}} = 2,9 \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot 0,523}{0,025}} = 46 \text{ мм} = 0,046 \text{ м.}$$

Усилие на ролики секции от действия ферростатического давления:

$$F_{\phi} = p_{\phi} \cdot A_{\phi} = p_{\phi} \cdot (B - 2 \cdot \delta) \cdot R \cdot \varphi = 412 \cdot (1,6 - 2 \cdot 0,046) \cdot 12 \cdot 0,0872 = 650 \text{ кН.}$$

Сила тяжести слитка в пределах секции:

$$G_{\text{сл}} = B \cdot H \cdot R \cdot \varphi \cdot \rho \cdot g = 1,6 \cdot 0,2 \cdot 12 \cdot 0,0872 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 25800 \text{ Н} = 25,8 \text{ кН.}$$

Нормальная составляющая силы тяжести слитка:

$$Q = G_{\text{сл}} \cdot \sin \alpha = 25,8 \cdot 0,5 = 12,9 \text{ кН.}$$

Окружная составляющая силы тяжести слитка:

$$T = G_{\text{сл}} \cdot \cos \alpha = 25,8 \cdot 0,866 = 22,3 \text{ кН.}$$

Сила тяжести ролика проводки:

$$G_{\text{рол}} = 0,785 \cdot (D_{\text{рол}})^2 \cdot L_{\text{рол}} \cdot \rho \cdot g = 0,785 \cdot 0,4^2 \cdot 2 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 19300 \text{ Н} = 19,3 \text{ кН,}$$

где $L_{\text{рол}}$ – длина бочки ролика, равная $L_{\text{рол}} = B + 2 \cdot 0,2 = 1,6 + 0,4 = 2,0 \text{ м.}$

Полные усилия на опоры нижних и верхних роликов секции соответственно равны:

$$F_{\text{нр}} = F_{\phi} + Q + z_{\text{нр}} \cdot G_{\text{нр}} = 650 + 12,9 + 2 \cdot 19,3 = 701 \text{ кН,}$$

$$F_{\text{вр}} = F_{\phi} - z_{\text{вр}} \cdot G_{\text{вр}} = 650 - 2 \cdot 19,3 = 611 \text{ кН.}$$

Крутящие моменты для вращения нижних и верхних роликов секции соответственно:

$$M_{\text{нр}} = (F_{\phi} + Q) \cdot \mu + F_{\text{нр}} \cdot f \cdot \frac{d_u}{2} = (650 + 12,9) \cdot 0,015 + 701 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,15}{2} = 10,5 \text{ кН} \cdot \text{м,}$$

$$M_{\text{вр}} = F_{\phi} \cdot \mu + F_{\text{вр}} \cdot f \cdot \frac{d_u}{2} = 650 \cdot 0,015 + 611 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,15}{2} = 10,2 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Крутящий момент окружной составляющей силы тяжести слитка:

$$M_{\text{сл}} = T \cdot \frac{D_{\text{рол}}}{2} = 22,3 \cdot \frac{0,4}{2} = 4,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Полный крутящий момент на приводном ролике секции:

$$M_i = M_{нр} + M_{вр} - M_{рол} = 10,5 + 10,2 - 4,5 = 16,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Мощность электродвигателя привода роликов секции:

$$P_i = \frac{M_i \cdot n}{9550 \cdot \eta} = \frac{16200 \cdot 1,2}{9550 \cdot 0,7} = 2,9 \text{ кВт},$$

где $\eta = 0,7$ - к.п.д. механических передач;

n - частота вращения роликов секции, равная $n = \frac{U}{\pi \cdot D_{рол}} = 1,2 \text{ мин}^{-1}$.

3. Привод секции участка выпрямления.

Момент пластического изгиба слитка:

$$M_{изг} = \sigma_s \cdot \frac{B \cdot H^2}{4} = 68 \cdot \frac{1,6 \cdot 0,2^2}{4} = 1,09 \text{ МН}\cdot\text{м} = 1090 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Крутящий момент на роликах при выпрямлении слитка:

$$M_{рол} = M_{изг} \cdot \frac{D_{рол}}{2 \cdot R} = 1090 \cdot \frac{0,4}{2 \cdot 12} = 18,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Усилие на опоры роликов при пластическом изгибе:

$$F_{рол} = \frac{M_{раз}}{t} = \frac{18,2}{0,52},$$

где t - шаг роликов в секции, равный

$$t \cong \frac{R \cdot \varphi}{2} = \frac{12 \cdot 0,0872}{2} = 0,52 \text{ м}.$$

Крутящий момент для преодоления сопротивления вращению нижних и верхних роликов соответственно:

$$M_{нр} = (F_{рол} + G) \cdot \mu + (F_{рол} + G + z_{нр} \cdot G_{нр}) \cdot f \cdot \frac{d_u}{2} = (35 + 25,8) \cdot 0,015 + (35 + 25,8 + 2 \cdot 19,3) \cdot 0,01 \cdot \frac{0,15}{2} = 18,2$$

$$M_{вр} = F_{рол} \cdot \mu + (F_{рол} - z_{вр} \cdot G_{вр}) \cdot f \cdot \frac{d_u}{2} = 35 \cdot 0,015 + (35 + 25,8 + 2 \cdot 19,3) \cdot 0,01 \cdot \frac{0,15}{2} = 0,53 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Суммарный крутящий момент на приводных роликах секции разгибки:

$$M_i = M_{нр} + M_{вр} + M_{рол} = 18,2 + 1,0 + 0,53 \approx 20 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Мощность электропривода роликов секции:

$$P_i = \frac{M_i \cdot n}{9550 \cdot \eta} = \frac{20000 \cdot 1,2}{9550 \cdot 0,7} = 3,6 \text{ кВт}.$$

11. Системы вторичного охлаждения

Качество непрерывно-литых слитков в значительной степени зависит от протекания процесса затвердевания и, следовательно от работы системы охлаждения, которую можно разделить по длине технологической оси МНЛЗ на три зоны в соответствии с применяемыми устройствами для отвода тепла с поверхности слитка (рис. 11.1).

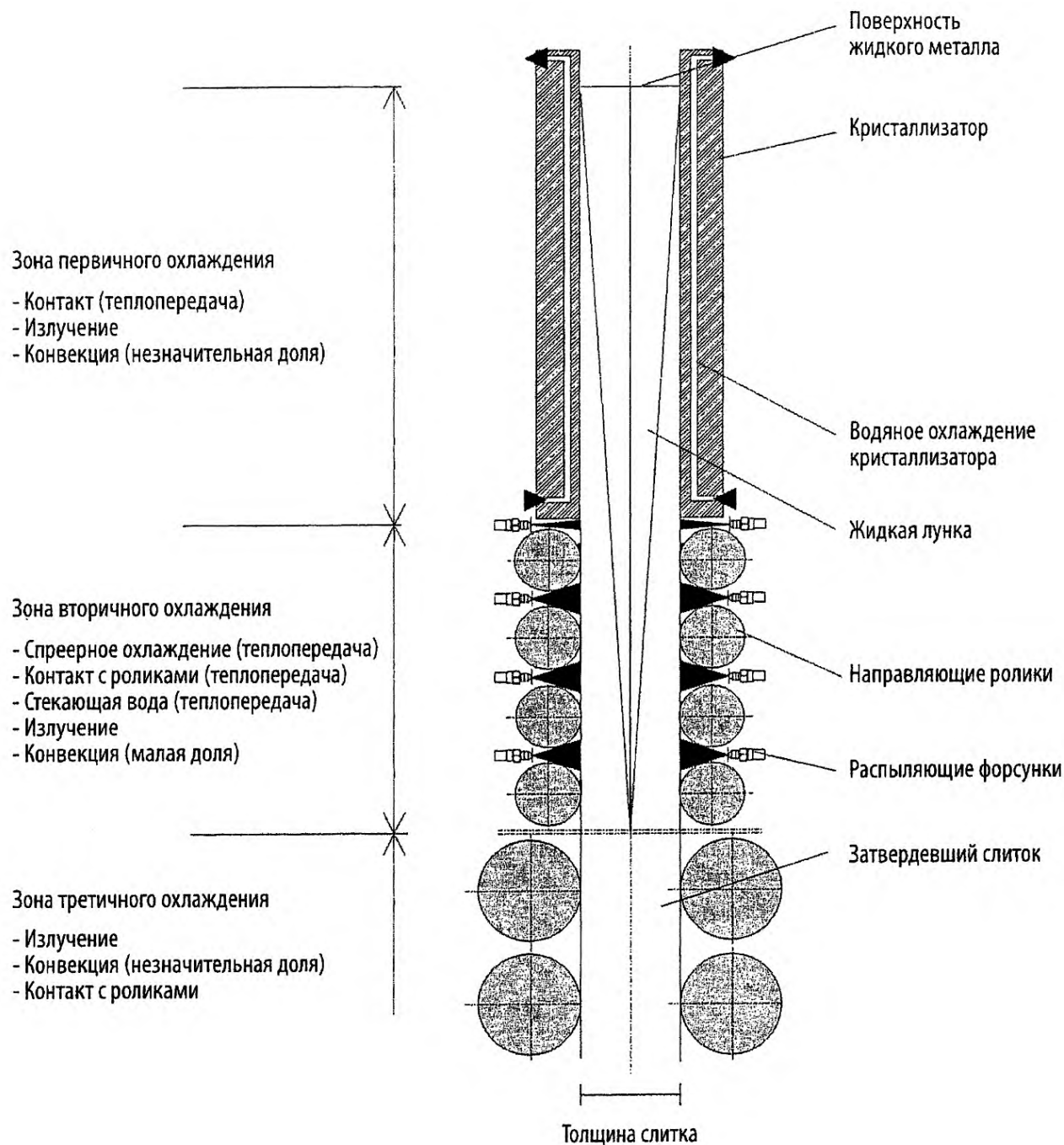


Рис. 11.1. Теплоотвод в системе охлаждения МНЛЗ

В кристаллизаторе тепло отводится в основном за счет теплопередачи и излучения. В роликовых проводках бóльшая часть тепла отводится за счет теплопередачи при спреерном охлаждении и непосредственном контакте слитка с роликами. Отвод тепла также происходит за счет стекающей воды и излучения. После затвердевания слитка на выходном участке МНЛЗ теплоотвод происходит за счет контакта с роликами и излучения.

В зоне вторичного охлаждения спреерные форсунки распределены по всей ширине сляба и, как правило, имеют три контура управления, которые позволяют системе регулировать ширину и интенсивность подачи охлаждающей среды. В простейшей форме регулирование ширины распыления осуществляется с помощью регулятора расхода воды и двухпозиционных клапанов, включающих и отключающих форсунки, расположенные соответственно ширине отливаемого слитка (рис. 11.2).

Недостатком этого метода регулирования является неравномерность охлаждения середины и кромок слитка, что может привести к его выпучиванию, так как все форсунки по ширине слитка управляются одним регулятором потока и чрезвычайно сложно достигнуть одинаковых характеристик регулирования по всем форсункам.

Чтобы улучшить процесс управления, заменяют простые двухпозиционные клапаны регуляторами потока: один на каждый контур ширины слитка. Это дает возможность независимого управления потоками через форсунки с регулируемой шириной распыления, так как их можно включать и отключать независимо друг от друга для равномерного распределения температуры по поверхности (рис.11.3).

Следует отметить, что расход охлаждающей воды по мере удаления слитка от кристаллизатора уменьшается, поэтому зону вторичного охлаждения делят по длине на несколько секций, объединяющих группу форсунок и имеющих самостоятельный подвод воды.

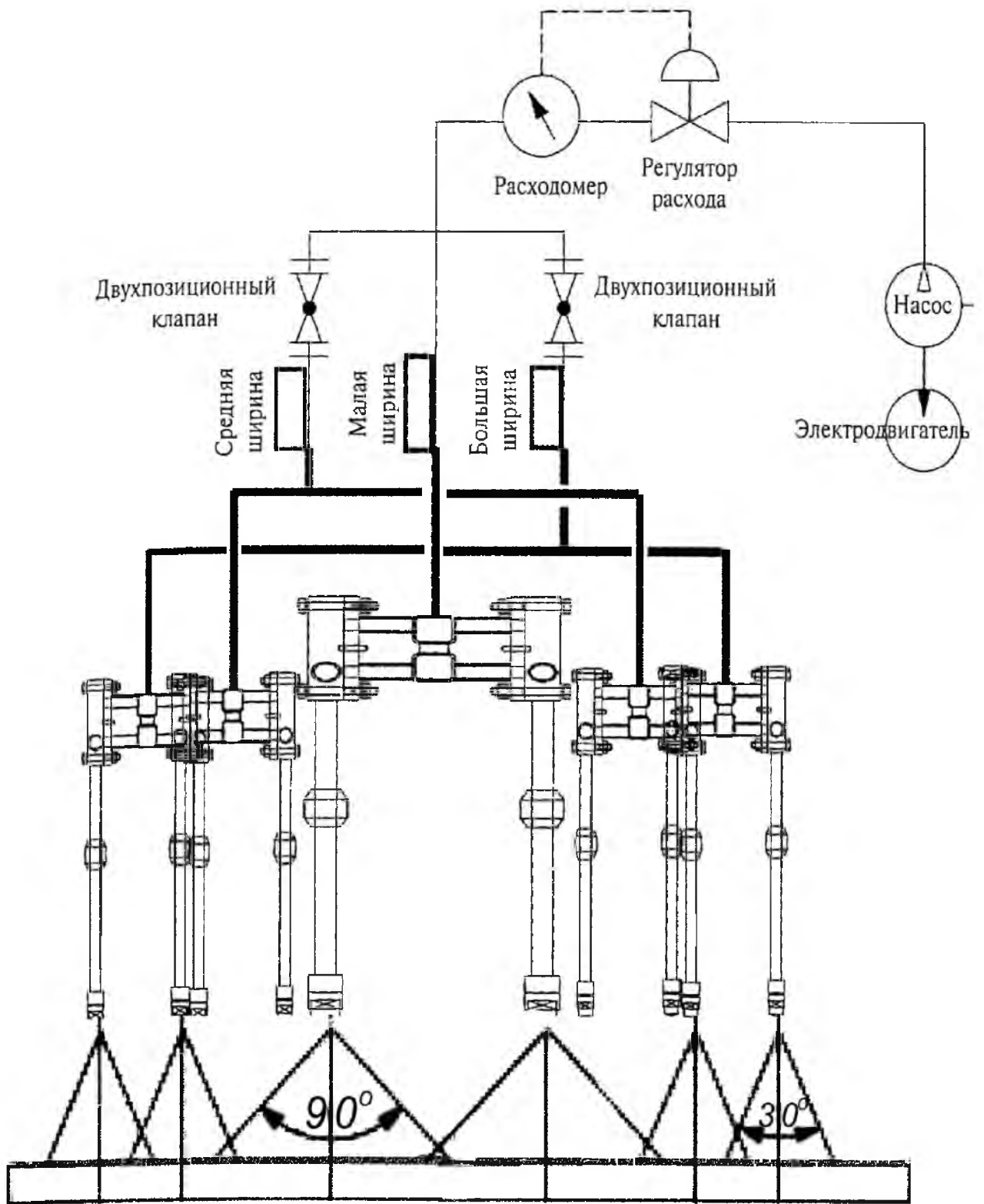


Рис. 11.2. Система регулирования ширины распыления

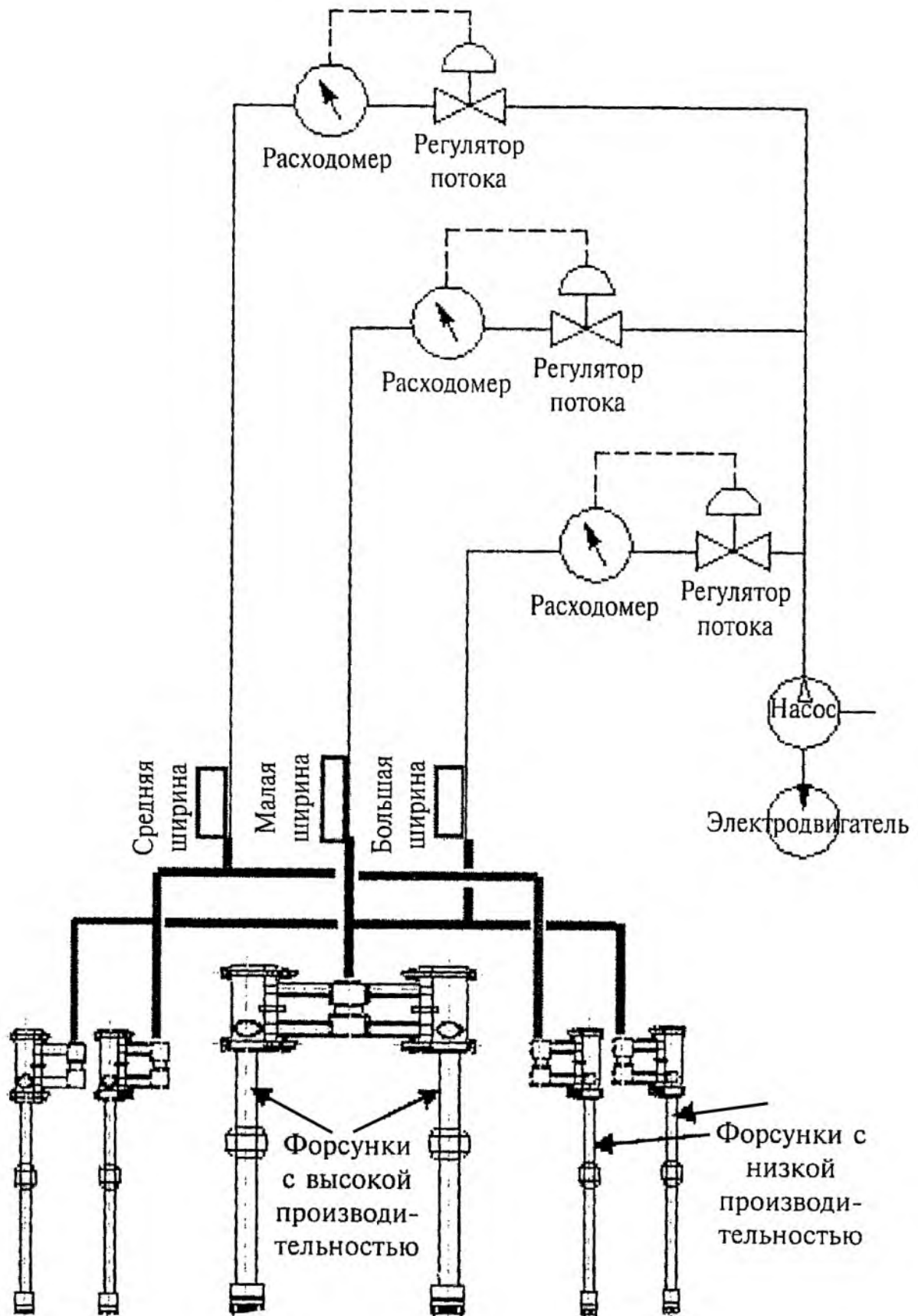


Рис. 11.3. Система независимого регулирования распыления по ширине слитка

Диапазон регулирования форсунок должен выбираться таким образом, чтобы обеспечивать гибкое регулирование интенсивности охлаждения при меняющихся условиях работы: скорости разливки, толщины и ширины слитка, марки стали. В качестве диапазона регулирования форсунок обычно задается объемный поток воды, который устанавливается в границах между минимальным и максимальным давлением воды.

У водяных форсунок интенсивность охлаждения и, соответственно, объемный расход воды могут регулировать только через давление воды. Диапазон регулирования обычно не превышает 1:3 при изменении давления от 1 до 10 бар. На рис. 11.4 показана водяная форсунка фирмы Lechler с плоской струей и равномерным распределением жидкости. Сопло форсунки снабжено фиксирующим элементом в форме «ласточкина хвоста», при монтаже которого сопло вдвигают в направляющие ниппеля. Такое соединение между ниппелем и соплом обеспечивает правильную позицию сопла на коллекторе под углом 15° к оси роликовых проводок, чтобы краевые струи не мешали соседним соплам.

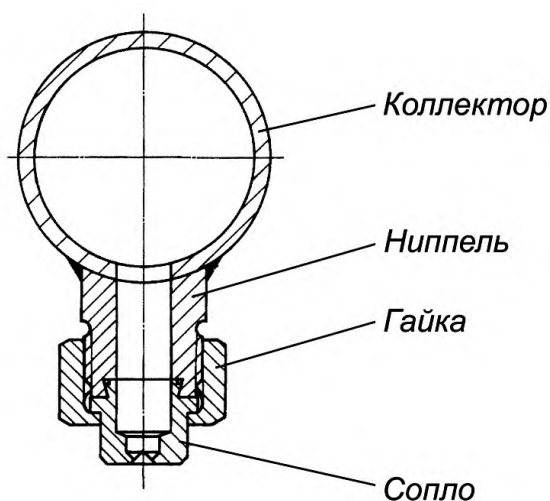


Рис. 11.4. Водяная форсунка фирмы Lechler.

Для повышения эффективности систем вторичного охлаждения все более широкое применение находят водовоздушные форсунки, в которых благодаря высокому давлению распыляющего воздуха капли воды на выходе

из сопла получают большой кинетический импульс. Увеличение скорости капле приводит к значительному повышению интенсивности охлаждения и, соответственно, к повышению коэффициента теплопередачи по сравнению с водяной форсункой.

На рис. 11.5 показана схема водовоздушной форсунки с внутренним смешиванием, в соединительном узле которой имеется смесительная камера для воды и воздуха. В камере происходит предварительное распыление еще до попадания смеси через удлинительную трубку в насадку форсунки, где происходит формообразование струи и окончательное распыление. На интенсивность охлаждения водовоздушными форсунками наряду с объемным расходом воды влияет и давление воздуха, что является еще одним рычагом воздействия на коэффициент теплопередачи, который определяется конкретным соотношением «вода-воздух». Применение водовоздушных форсунок позволяет увеличить диапазон регулирования объемного расхода воды до 1:15 при хорошей управляемости расходом и приемлемом формообразовании струй.

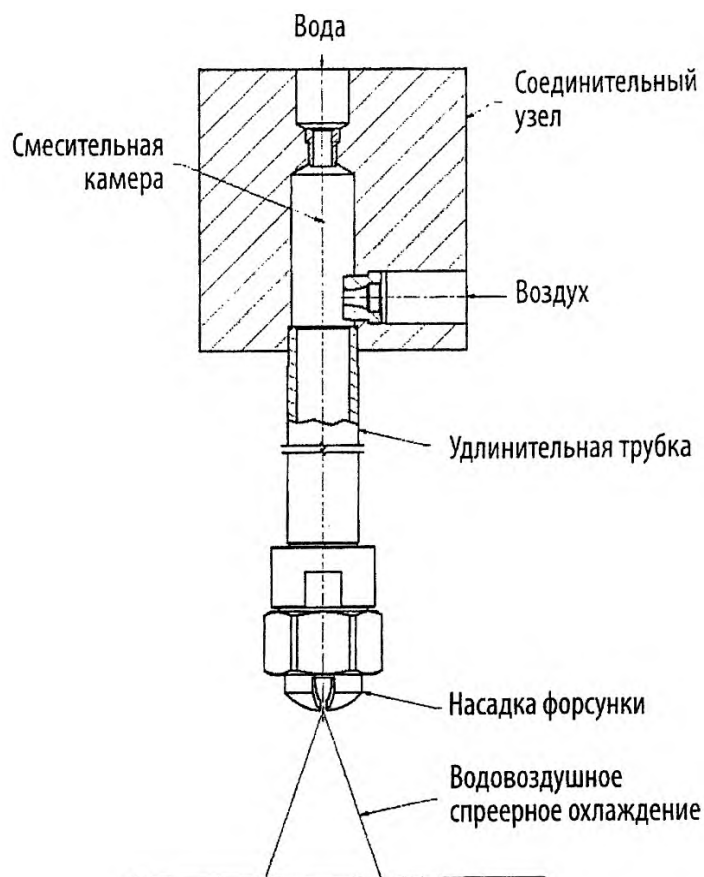


Рис. 11.5. Водовоздушная форсунка

12. Затравки и механизмы их перемещения

Для начала процесса литья на МНЛЗ применяют затравку, заводимую в кристаллизатор снизу или сверху и состоящую из головки и корпуса (рис. 12.1). Сечение головки соответствует сечению отливаемого слитка. В начале разливки она образует временное дно в кристаллизаторе.

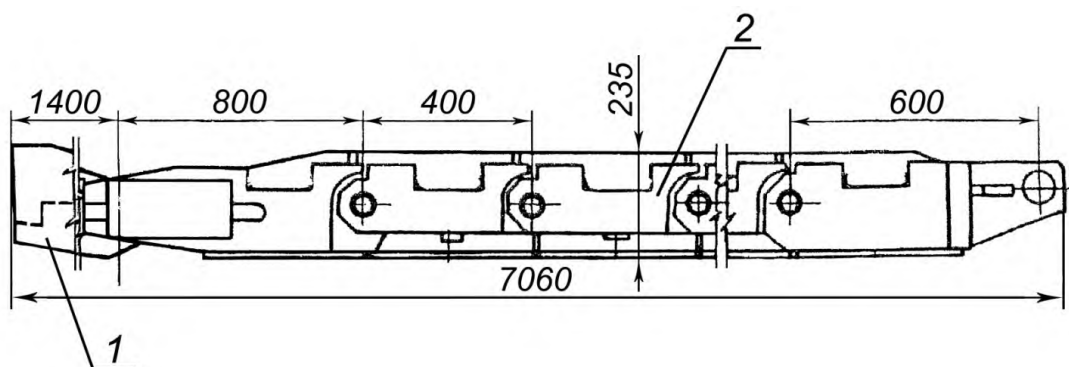


Рис. 12.1. Цепная затравка радиальной МНЛЗ:

1 - головка затравки; 2 - звено корпуса затравки.

Для сцепления с передним концом кристаллизующегося слитка на торце головки должен быть выполнен фигурный паз, который может иметь различную конфигурацию (рис. 12.2).

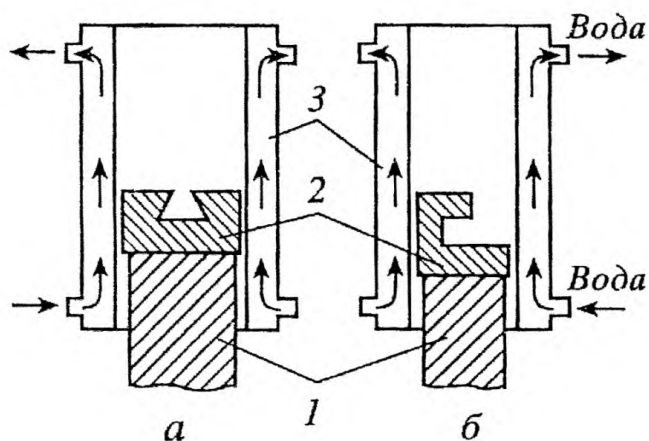


Рис. 12.2. Затравка в кристаллизаторе перед началом разливки с головкой, имеющей паз в виде ласточкиного хвоста (а) с Г-образной головкой (б):

1 - затравка; 2 - головка затравки; 3 - кристаллизатор.

Головку затравки, после заведения ее в полость кристаллизатора приблизительно на одну треть его высоты, уплотняют по периметру асбестовым шнуром во избежание протекания жидкого металла в зазор между головкой и медными стенками. Заливаемый в кристаллизатор металл застывает в углублении головки, обеспечивая сцепление затравки со слитком.

Корпус затравки по своим размерам в поперечном сечении должен беспрепятственно проходить по технологическому каналу МНЛЗ, образованному роликowymi проводками, чтобы обеспечивать вытягивание затравки и формирующейся в кристаллизаторе заготовки. Длина затравки зависит от расстояния по технологической оси между временным дном кристаллизатора до первых тянущих валков. По конструкции затравки можно разделить на гибкие (цепные) и жесткие.

Гибкая затравка представляет собой цепь, звенья которой равны по сечению отливаемому слитку и соединены между собой шарнирами или пакетами плоских пружин, закрепленных на осях, чтобы затравка могла копировать любую траекторию технологической оси МНЛЗ. При этом поворот звеньев относительно друг друга совершается только в сторону центра кривизны технологической оси МНЛЗ. Звенья затравки могут быть выполнены литыми, коваными или сварными из толстого листа.

Жесткая дугообразная затравка представляет собой брус с сечением, соответствующим сечению отливаемого слитка (сплошного, коробчатого или двутаврового профиля), который по форме копирует технологическую ось МНЛЗ. Поскольку брус жесткий и имеет значительные размеры, его изготовление имеет определенные трудности. Такие затравки, как правило, используют на сортовых МНЛЗ.

Подачу и ввод затравки в кристаллизатор, ее отсоединение от слитка и уборку после протягивания по роликowym проводкам, удержание в нерабочем положении производят специальными механизмами. Затравку вводят в кристаллизатор двумя способами: сверху и снизу. Недостатком

способа ввода затравки сверху является необходимость размещения соответствующих механизмов на верхней разливочной площадке, которая насыщена целым рядом устройств, обеспечивающих подачу металла в кристаллизатор. Более оправдано применение механизмов с вводом затравки в кристаллизатор снизу, которые отличаются простотой конструкции и удобством обслуживания.

На рис. 12.3. показан механизм для ввода затравки снизу. Затравка вводится в кристаллизатор через горизонтальный и радиальный участки роликовой проводки реверсированием вращения роликов. При задаче затравки в роликовую проводку, как и при ее приеме, стол занимает наклонное положение.

В исходном положении затравка, соединенная крюками с кареткой, расположена вертикально. Каретка, снабженная ходовыми колесами, подвешена на канатном полиспасте с приводом от лебедки. Для направления затравки при переводе из вертикального положения в горизонтальное и обратно предусмотрены ролики: стационарный и закрепленный на качающемся столе. Отсоединение головки затравки от слитка при выходе ее из роликовой проводки производится перемещением стола гидроцилиндрами снизу вверх.

В сортовых МНЛЗ с целью упрощения конструкции и удобства эксплуатации механизм подачи затравки на ось ручья выполняют в виде поворотного рычажного механизма с ложементами для размещения затравки (рис. 12.4). Механизм имеет привод от гидроцилиндра и расположен рядом с горизонтальным участком роликовой проводки.

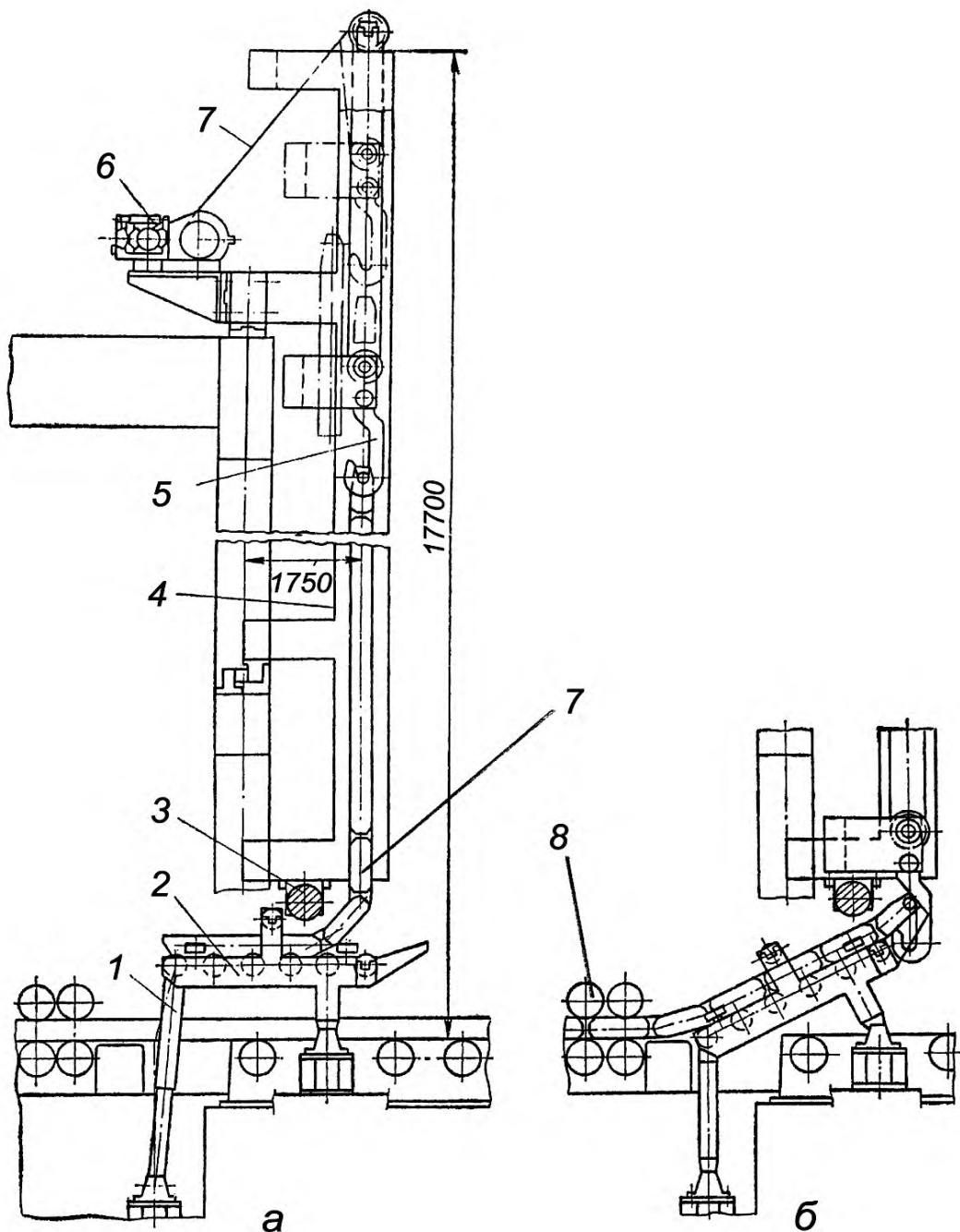


Рис. 12.3. Механизм для ввода затравки в кристаллизатор снизу.

а - затравка в поднятом нерабочем положении;

б - отсоединение затравки от каретки.

- 1 - гидроцилиндр; 2 - качающийся стол; 3 - направляющий ролик;
 4 - направляющие каретки; 5 - каретка с крюками; 6 - лебедка;
 7 - канатный полиспаст; 8 - затравка; 9 - роликовая проводка.

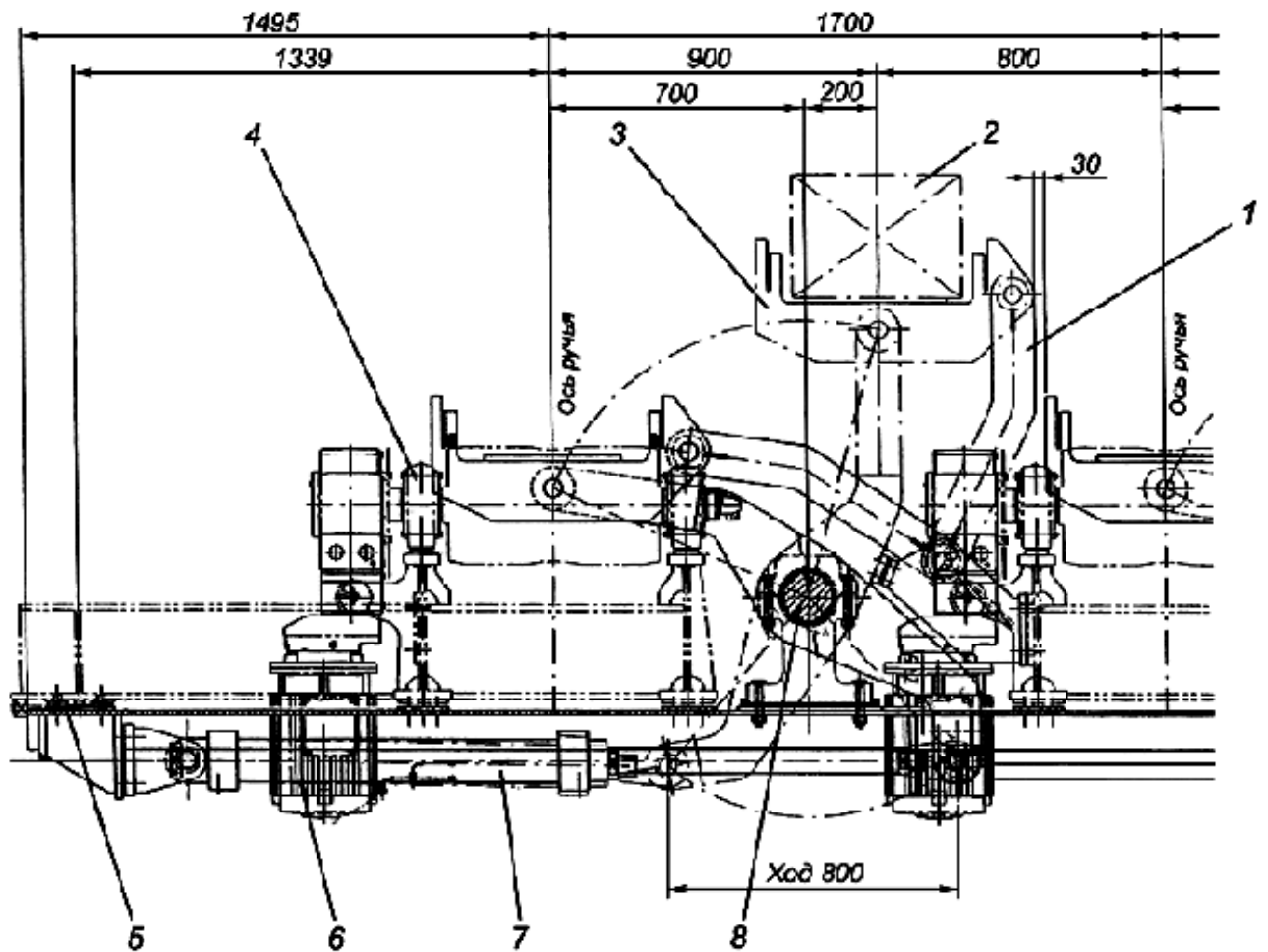


Рис. 12.4. Механизм подачи затравки на ось ручья сортовой МНЛЗ:
 1 - рычажный параллелограмный механизм; 2 - затравка; 3 - ложемент;
 4 - роликовая проводка; 5 - основание; 6 - привод роликовой проводки;
 7 - гидроцилиндр; 8 - ось поворота.

13. Машины для резки заготовок

Для резки заготовок на мерные длины в процессе движения применяют машины двух типов: машины газовой резки и ножницы. Наиболее широко используют машины газовой резки, обладающие относительной простотой конструкции, малой металлоемкостью и ремонтпригодностью. К их недостаткам следует отнести значительные отходы металла (до 1...2%) и необходимость вентиляции для удаления продуктов горения.

Ножницы относятся к машинам безотходного раскроя и не загрязняют окружающей среды. Они, как правило, используют гидравлический привод и применяются для резки слитков сечением до 250×250 мм. Их применение ограничено вследствие сложности конструкции, высокой металлоемкости и значительных эксплуатационных затратах.

Машина газовой резки плоского слитка, приведенная на рис. 13.1, размещается за рольгангом для уборки затравки и снабжена реечным механизмом перемещения тележки по рельсовому пути, закрепленном на эстакаде, по направлению движения слитка. Во время рабочего хода тележка движется вместе со слябом, сцепленная с ним пневматическими захватами. Возврат тележки в исходное положение осуществляется электроприводом через реечную передачу.

Резку сляба осуществляют двумя резаками при их встречном движении поперек движения слитка со скоростью до 600 мм/мин. Резаки имеют также вертикальное перемещение от электроприводов со скоростью до 350 мм/мин.

На раме тележки располагают панели с газораспределительной аппаратурой и подводы энергоносителей. Обычно для резки слябов из углеродистых сталей применяют кислород чистотой не менее 99,5% и давлением 1,8 МПа. В качестве горючего газа применяют природный газ или ацетилен. Резак в процессе работы охлаждается водой.

Контроль положения тележки, кареток с резаками, захватов и резаков осуществляется путевыми выключателями.

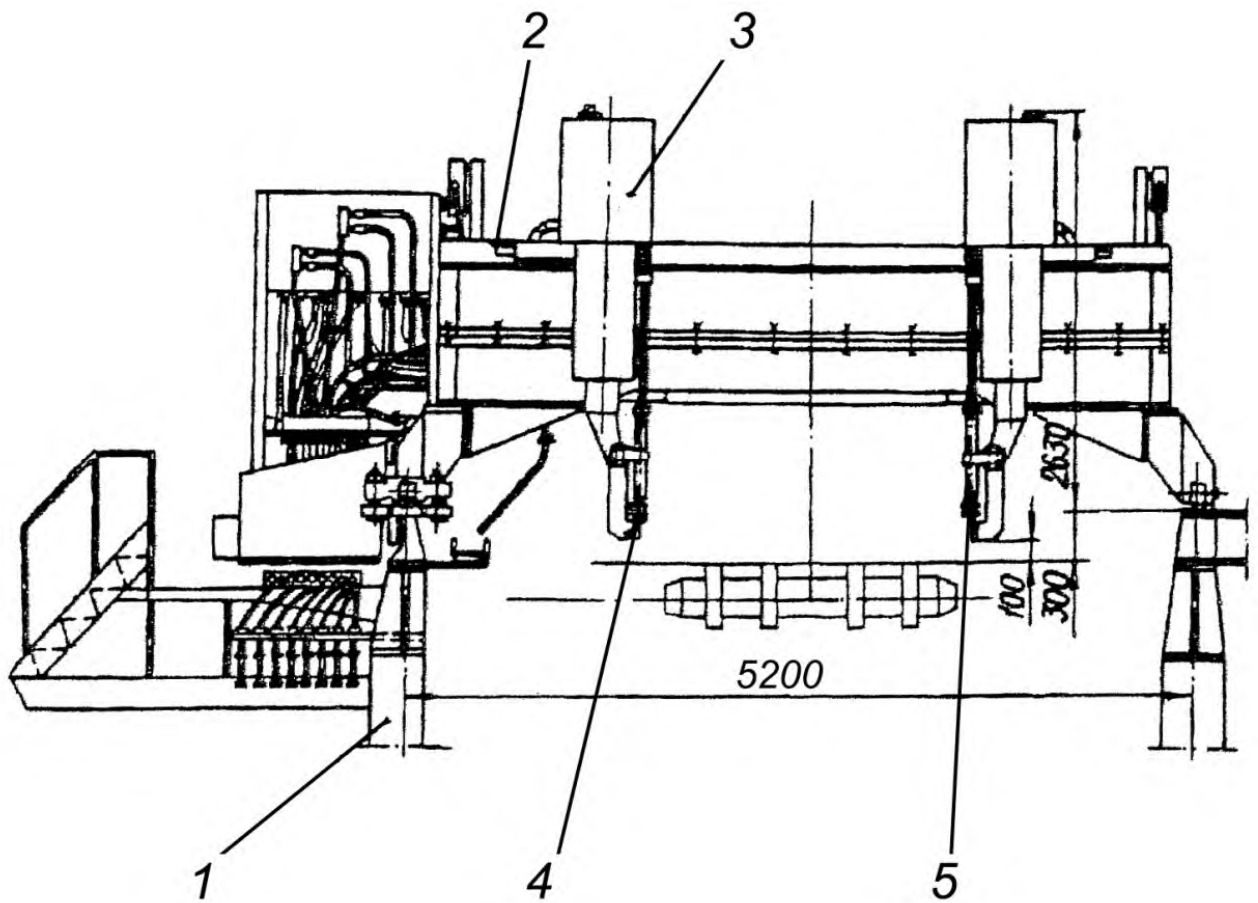


Рис. 13.1. Машина газовой резки слябов:
 1 - эстакада; 2 - тележка; 3 - привод резаков;
 4 - пневматический захват; 5 - газовый резак.

14. МНЛЗ для совмещения процессов литья и прокатки

14.1. Тонкослябовые МНЛЗ

В настоящее время технология литья тонких слябов в сочетании с горячей прокаткой, реализуемая в литейно-прокатных агрегатах (ЛПА) или в английской транскрипции CSP (Compact Strip Production), стала доминирующей при производстве высококачественных горячекатаных стальных полос. Основные преимущества таких ЛПА заключаются в применении менее мощных станов и значительном сокращении времени производственного цикла. Схема расположения оборудования ЛПА CSP показана на рис. 14.1.

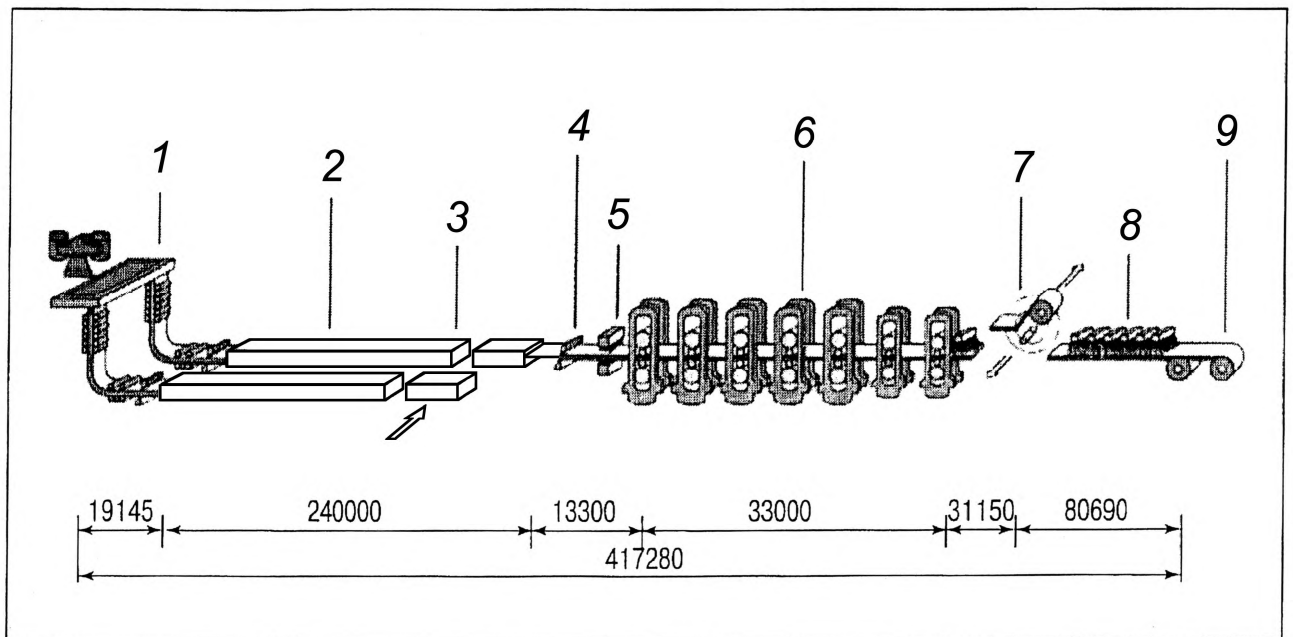


Рис. 14.1. Схема расположения оборудования литейно-прокатного агрегата CSP:

1 - вертикально-радиальная МНЛЗ с ножницами резки; 2 - печи подогрева слитков; 3 - передаточное устройство; 4 - ножницы; 5 - гидросбив окалины; 6 - прокатный стан; 7 - напольная моталка; 8 - участок ламинарного охлаждения; 9 - подпольная моталка.

Двухручьева вертикально-радиальная МНЛЗ имеет вертикальный кристаллизатор и расположенный ниже вертикальный участок зоны

вторичного охлаждения, включающий роликовые проводки и форсунки для подачи на слиток распыленной воды. Далее расположена правильно-тянущая секция роликов, изгибающих слиток по дуге радиусом кривизны 3 м, которая переводит его в горизонтальное положение. Затем слиток режется на мерные заготовки и поступает в проходные печи подогрева с роликовым подом.

Скорость литья в таких ЛПА может достигать 5,5 м/мин, ширина слитков – до 1600 мм. Одной из основных особенностей тонкослябовых МНЛЗ является конструкция прямолинейного, так называемого воронкообразного кристаллизатора. Схематично такой кристаллизатор показан на рис.14.2.

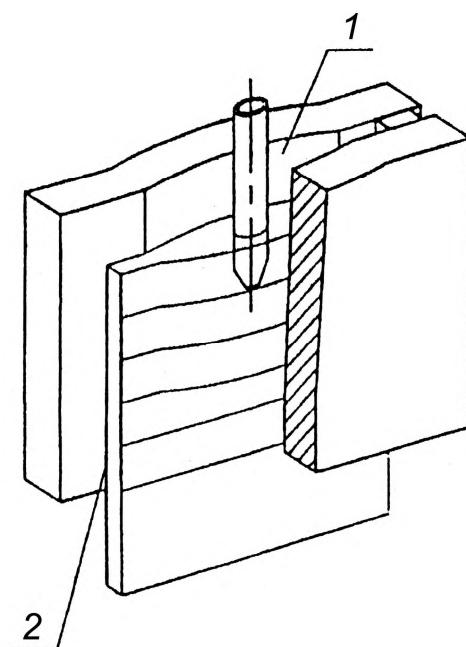


Рис. 14.2. Схема тонкослябового кристаллизатора конструкции

ВНИИМЕТМАШ:

1 - приемная заливочная воронка; 2 - формообразующая выпускная зона.

Верх внутренних широких медных стенок кристаллизатора выполнен с воронкообразным расширением в центре для ввода погружного разливочного стакана, подающего жидкий металл в кристаллизатор. Это расширение необходимо, поскольку расстояние между стенками недостаточно для ввода стакана в кристаллизатор.

Воронкообразное расширение стенок, профиль которых образован сопряжением дуг окружностей или в виде синусоид, постепенно сходит «на нет» и в нижней части стенок приобретает плоскую форму. Формирующаяся в воронкообразной части кристаллизатора корочка слитка при его движении вниз деформируется и на выходе из кристаллизатора слиток приобретает в поперечном сечении прямоугольную форму.

Тонкослябовые совмещенные ЛПА, получающие все более широкое распространение, как правило, предназначены для получения новой продукции или производства существующей продукции по более сокращенным маршрутам.

14.2. Полосовые МНЛЗ

Одним из эффективных направлений сокращения капитальных затрат при производстве проката является уменьшение толщины исходной литой заготовки. В связи с этим получили развитие различные виды МНЛЗ, основанные на применении подвижных кристаллизаторов, рабочая поверхность которых перемещается вместе со слитком в начальный момент его формирования. В результате исключается взаимное скольжение между слитком и кристаллизатором, что позволяет отливать слитки значительно меньшей толщины и при значительно больших скоростях, чем на традиционных МНЛЗ с вытягиванием слитка из кристаллизатора.

Для производства широких полос из цветных металлов и сплавов используют подвижные кристаллизаторы ленточного типа системы Хазелетт (рис. 14.3). Жидкий металл поступает в пространство между двумя наклонно расположенными и непрерывно движущимися стальными лентами с боковыми ограждениями, предотвращающими растекание металла. Ленты, служащие кристаллизатором, а также барабаны интенсивно охлаждаются водой. Угол наклона лент составляет 6...15 град.

На подобных МНЛЗ получают полосы из алюминия, цинка, меди и их сплавов толщиной 10...40 мм и шириной до 1600 мм. Скорость выхода

полосы из ленточного кристаллизатора составляет 5...15 м/мин, что делает рентабельным его совмещение с прокатным станом в ЛПА.

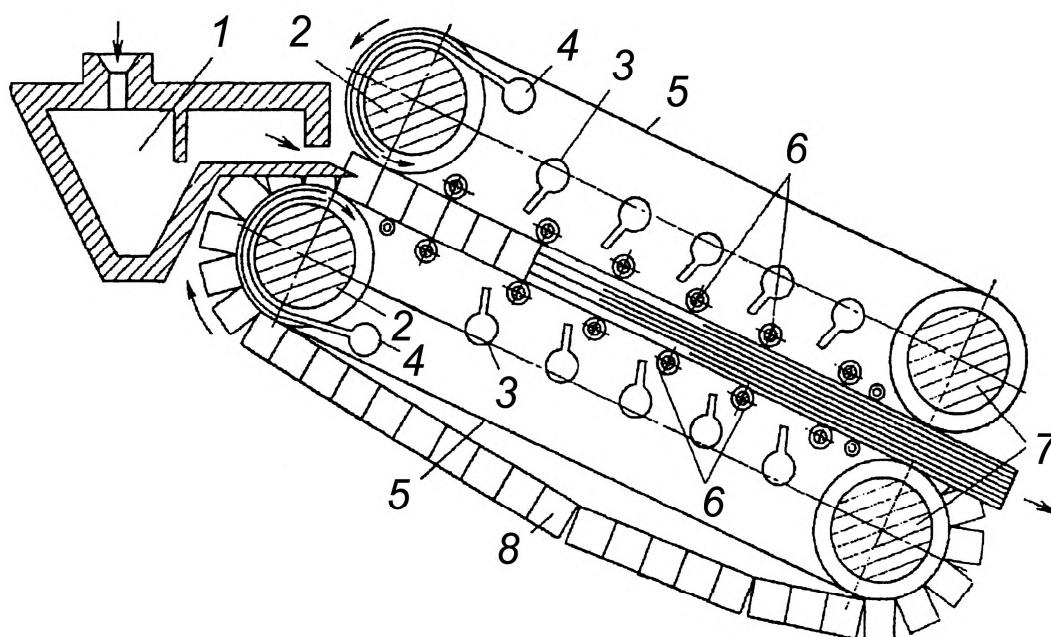


Рис. 14.3. Полосовая МНЛЗ с кристаллизатором ленточного типа:

1 - приемная ванна (миксер); 2 - барабаны; 3 - устройство охлаждения полосы; 4 - устройство охлаждения барабанов; 5 - тонкие бесконечные ленты; 6 - ролики; 7 - приводные барабаны; 8 - боковые бесконечные цепи.

На подобных МНЛЗ получают полосы из алюминия, цинка, меди и их сплавов толщиной 10...40 мм и шириной до 1600 мм. Скорость выхода полосы из ленточного кристаллизатора составляет 5...15 м/мин, что делает рентабельным его совмещение с прокатным станом в ЛПА.

Широкому распространению МНЛЗ такого типа препятствует низкая стойкость и высокая стоимость стальных лент со специальным покрытием (например, керамическое покрытие с напылением графита), а также недостаточная жесткость ленточного кристаллизатора в поперечном направлении. Срок службы комплекта стальных лент-кристаллизаторов толщиной 1,2...1,5 мм составляет ~ 1 неделю.

Полосовые МНЛЗ типа Хазелетт находят также применение при производстве тонких слябов из нелегированных сталей сечением (12...40)×(1300...1800) мм при скоростях разливки до 15 м/мин.

Фирмой «Alusuisse» (Швейцария) разработана МНЛЗ «Caster II», имеющая подвижный траковый кристаллизатор, состоящий из 2-х комплектов массивных водоохлаждаемых блоков (траков), образующих ветви конвейера, между которыми заливается расплав (рис. 14.4). Отсутствие жестких механических связей между траками и несущими частями машины обеспечивает свободное тепловое изменение размеров траков и гарантирует плоскостность и параллельность рабочих поверхностей кристаллизатора в зоне литья.

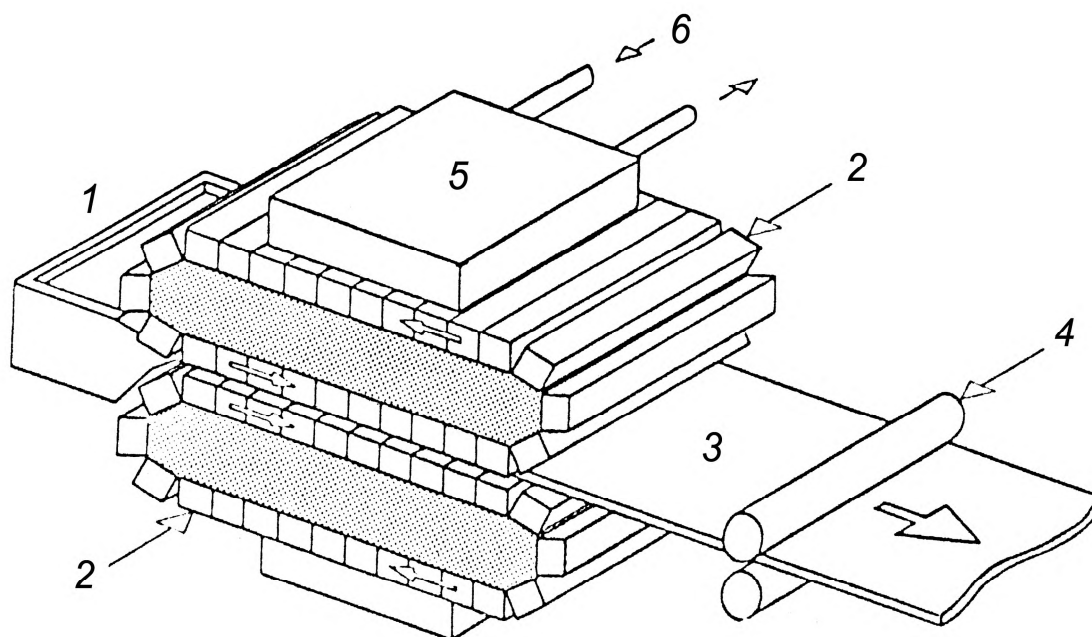


Рис. 14.4 Схема полосовой МНЛЗ «Caster II» с траковым кристаллизатором:
 1 - металлоподвод; 2 - трак; 3 - литая полоса; 4 - тянущие ролики;
 5 - устройство охлаждения траков; 6 - подвод воды.

На обратных ветвях траковых конвейеров расположены стационарные системы спрейерного охлаждения, которые служат для снижения температуры траков до заданных значений перед их контактом с расплавом. Чтобы избежать следов влаги на поверхности траков, на выходе из системы охлаждения создается разрежение воздуха (низкий вакуум) для сушки траков.

В настоящее время на МНЛЗ «Caster II» освоено производство полос из различных алюминиевых сплавов толщиной до 20 мм при ширине до 1750 мм. Скорость литья достигает 5 м/мин., а производительность 100...120 тыс. т/год.

Одним из перспективных способов производства литых заготовок, близких по размерам к готовой продукции, является способ прямого литья полосы DSC (Direct Strip Casting), развитию которого последнее время придается большое значение. Принципиальная схема ЛПА с МНЛЗ для прямого литья полосы показана на рис. 14.5.

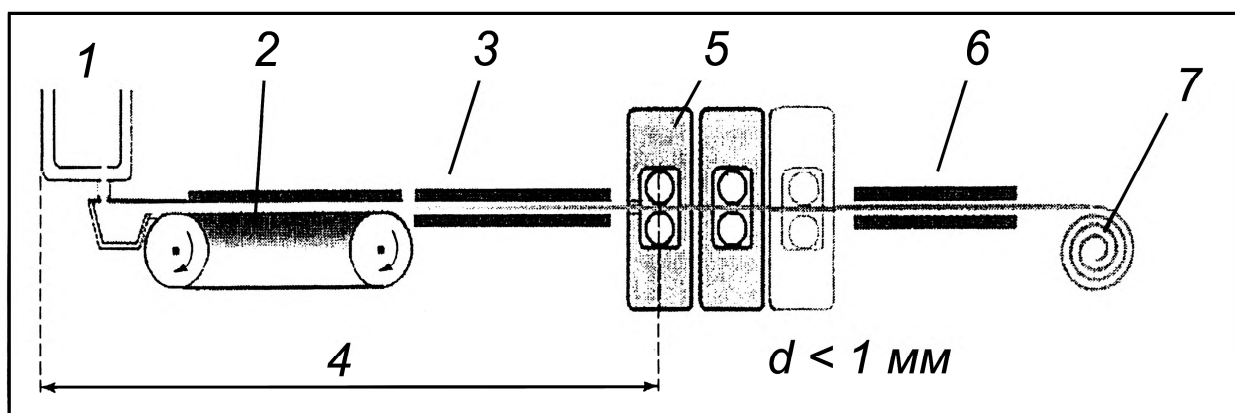


Рис. 14.5. Схема ЛПА с МНЛЗ методом DSC:

- 1 - сталеразливочный ковш; 2 - литейная машина; 3 - участок вторичного охлаждения; 4 - зона защитной атмосферы; 5 - клетки прокатного стана; 6 - участок охлаждения после прокатки; 7 - моталка.

Жидкий металл из сталеразливочного ковша через систему подвода заливают на горизонтально расположенную движущуюся ленту, выполненную из стали или меди и интенсивно охлаждаемую снизу водой. После затвердевания образовавшаяся полоса, имеющая толщину 8...15 мм, проходит зону вторичного охлаждения и выравнивания температуры для последующей совмещенной прокатки. Далее располагается участок охлаждения и смотки, аналогичный применяемым при традиционном процессе прокатки.

Быстрое (по сравнению с обычным непрерывным литьем) затвердевание жидкого металла дает тонкую структуру слитка. Микроликвации практически отсутствуют, поскольку нет существенной разницы в скорости между расплавом и затвердевшим металлом.

Ввиду большой длины зоны первичного охлаждения на ленточном кристаллизаторе, длина которого может достигать 10 м, отсутствия трения между металлом и лентой и изгиба литой полосы может быть достигнута скорость литья до 60 м/мин.

Чтобы предотвратить образование окалины на металле, весь участок от подачи металла в МНЛЗ до горячей прокатки заключен в кожух, в котором устанавливается контролируемая атмосфера защитного газа. Поскольку объем почти плоского кожуха и утечки газа сравнительно невелики, то создание инертной атмосферы не требует значительного расхода газа. Кроме того, литье в атмосфере защитного газа допускает более высокое содержание легирующих примесей в стали.

Стабильность профиля литой полосы, получаемой на МНЛЗ методом DSC, в значительной степени зависит от поведения ленты кристаллизатора, которая передает тепло жидкой стали к охлаждающей воде. Связанный с этим нагрев ленты при его неравномерности и соответственно возникновении термических напряжений влечет за собой выпучивание ленты, которое может достигать нескольких миллиметров, что является недопустимым.

Для устранения этой проблемы ленту кристаллизатора размещают на опорных роликах под натяжением. Точки контакта с роликами расположены со смещением. Между роликами расположены сопла для интенсивного охлаждения ленты, а в корпусе охладителя создается разрежение до 0,3 бар (0,03 МПа). Благодаря этому вертикальное перемещение ленты кристаллизатора даже на участке подвода жидкого металла уменьшается до незначительной величины менее 0,1 мм.

Важным фактором для эффективности процесса DSC является получение хорошего качества свободно затвердевающей верхней

поверхности полосы. При контакте с воздухом на расплаве образуется шлак, который после затвердевания приводит к образованию пор на поверхности полосы. Гладкая и беспористая поверхность получается, когда над расплавом создается атмосфера аргона, содержащего несколько процентов диоксида углерода CO₂. Подобные газовые смеси Ar / CO₂ находят применение в качестве защитных атмосфер при сварке.

Для совмещения МНЛЗ прямого литья полосы с прокаткой входная скорость прокатного стана должна соответствовать скорости ленты кристаллизатора с учетом усадки полосы.

В настоящее время процесс прямого литья полосы доведен до такого уровня развития, что можно сделать вывод о его пригодности для промышленного производства горячекатаной полосы. Главное преимущество такого процесса (табл. 14.1) заключается в том, что он требует сравнительно небольших капиталовложений и низких эксплуатационных расходов благодаря компактной конструкции агрегата и высокой производительности.

Таблица 14.1

Характерные параметры различных МНЛЗ при получении полосы

Параметры	Слябовая	Тонкослябовая	DSC
Толщина на выходе из кристаллизатора, мм	220 1,3	50 5	12 40
Скорость литья, средняя, м/мин.	129	113	216
Производительность, т/ч на 1 м ширины	600	370	100
Длина агрегата, м			

14.3. Тонколистовые МНЛЗ

Процесс производства тонколистовых заготовок методом прямого литья жидкого металла в зазор между двумя валками, вращающимися в противоположных направлениях, с получением затвердевшей полосы на

выходе из этих валков отличается простотой и коротким производственным циклом.

Г. Бессемер впервые предложил подобный процесс более 150 лет назад. Однако реализация его оказалась сложной, и довести двухвалковые МНЛЗ до промышленного применения удалось только в середине XX века, причем, сначала для алюминиевых сплавов. В настоящее время тонколистовые валковые МНЛЗ, схема процесса литья на которых показана на рис. 14.6, относятся к перспективным конструкциям и с ними связывают будущее в металлургии.

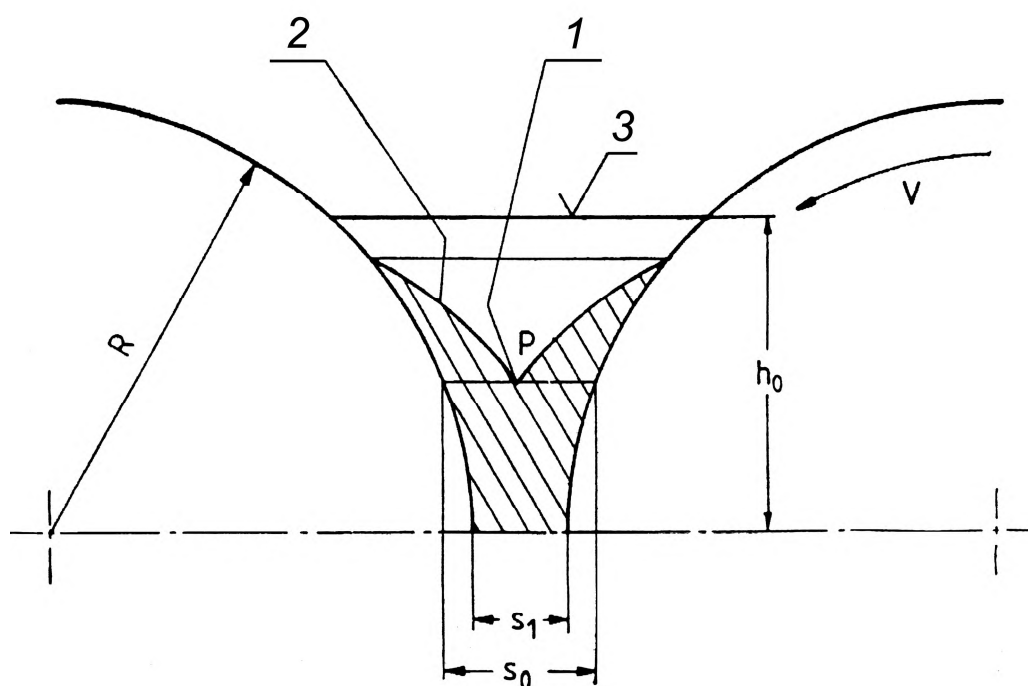


Рис. 14.6. Схема процесса литья при разливке металла между двумя валками:

1 - точка смыкания слоев затвердевания; 2 - граница слоев затвердевания (граница лунки расплава); 3 - уровень расплава.

R - радиус валка; V - окружная скорость валков; S_0 - толщина полосы в месте срастания; S_1 - выходная толщина полосы; h_0 - расстояние от оси валков до верхней кромки расплава.

Двухвалковые МНЛЗ применяют для получения плоских слитков (полос, лент). Расплавленный металл из промежуточного ковша подается сверху в зазор между двумя параллельными вращающимися навстречу друг

другу водоохлаждаемыми валками, выполняющими роль кристаллизаторов. Необходимость внутреннего охлаждения валков обуславливает их конструкцию, состоящую из стержня с каналами для подвода воды и закрепленного на нем водоохлаждаемого бандажа. По торцам валков расположены поперечные пластины, ограничивающие литейное пространство с боков в зависимости от ширины заготовки.

Между валками формируется сужающаяся книзу воронка из жидкого металла (расплава), ограниченная образующимися на валках слоями затвердевшего металла. Эти два слоя соединяются в зазоре между валками и формируют непрерывно-литую полосу, которая в дальнейшем подвергается обжатию вследствие сближения поверхностей вращающихся валков. Окончательное затвердевание происходит после выхода слитка из валков.

Валки-кристаллизаторы тонколистовых МНЛЗ выполняют две функции: сначала кристаллизатора с подвижными стенками, а затем – деформирующего инструмента для обжатия литой полосы. По физической сути они являются поверхностными теплообменниками: на участке контакта с металлом они отбирают тепло, которое затем через стенку бандажа валка передают охладителю – воде, циркулирующей внутри валка.

К валкам-кристаллизаторам предъявляются следующие основные требования:

- материал бандажа должен обладать хорошей теплопроводностью, прочностью, твердостью, стойкостью к переменным тепловым нагрузкам и трещинообразованию;
- горячая посадка бандажа на стержень валка должна обеспечивать устойчивость его против сдвига вдоль оси и по окружности стержня;
- конструкция валков должна быть простой и обеспечивать равномерный отвод тепла по всей длине бочки (перепад температур не должен превышать 5°C).

Выбор материала бандажей необходимо проводить дифференцировано в зависимости от конкретного разливаемого металла с учетом эффективности внутреннего охлаждения. Бандаж валка должен быть из материала с

достаточной теплопроводностью и хорошей смачиваемостью расплавом. Бандажи из меди или бронзы обладают большей теплопроводностью, чем стальные, но значительно уступают им по долговечности и прочности. В то же время необходимость отвода значительного теплового потока за каждый оборот валка заставляет снижать толщину стального бандажа и увеличивать его диаметр. Наибольшее применение находят бандажи из термостойких сталей типа 20Х3МВФ, ОХНЗМ, 35ХГМ и др.

Как показывают расчеты, для литья стальной полосы толщиной 5...6 мм и шириной 1000 мм расход воды внутренней системы охлаждения должен быть не менее 300 м³/ч на каждом из валков.

По конструкции валки-кристаллизаторы различаются размещением внутренних охлаждающих каналов, предназначенных для обеспечения интенсивного и равномерного охлаждения бандажа по его длине и окружности, а также способами подвода-отвода охлаждающей воды. На рис. 14.7 показана наиболее рациональная схема системы охлаждения валка-кристаллизатора с односторонним подводом-отводом воды.

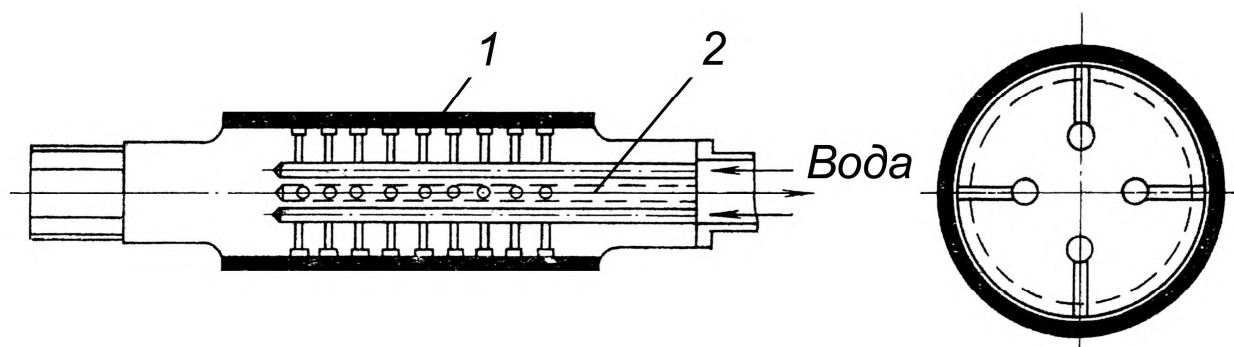


Рис. 14.7. Схема валка-кристаллизатора с односторонним подводом-отводом воды: 1 - бандаж; 2 - стержень.

Подвод воды осуществляется с помощью вертлюга через два отверстия в торце стержня валка, а отвод – через такие же два отверстия, расположенные в диаметрально противоположном направлении. Поступающая вода через радиальные отверстия выходит на образующую стержня валка и распределяется по кольцевым каналам, где расходится в

разных направлениях. Пройдя четверть длины окружности, вода уходит по таким же радиальным каналам в продольные каналы, откуда вытекает через вертлюг в циркуляционную систему.

Приведенная конструкция охлаждающей системы бандажированного валка обеспечивает равномерную температуру его поверхности по длине рабочей части и необходимую интенсивность охлаждения бандажа.

На рис. 14.8 показана схема промышленного тонколистового ЛПА в г.Крефельде (Германия), созданного на базе двухвалковой МНЛЗ, который предназначен для получения горячекатаных полос в рулонах толщиной 1,0...3,5 мм, шириной 1100...1600 мм из углеродистых и коррозионностойких сталей. Диаметр валков-кристаллизаторов МНЛЗ равен 1500 мм, скорость литья – до 140 м/мин.

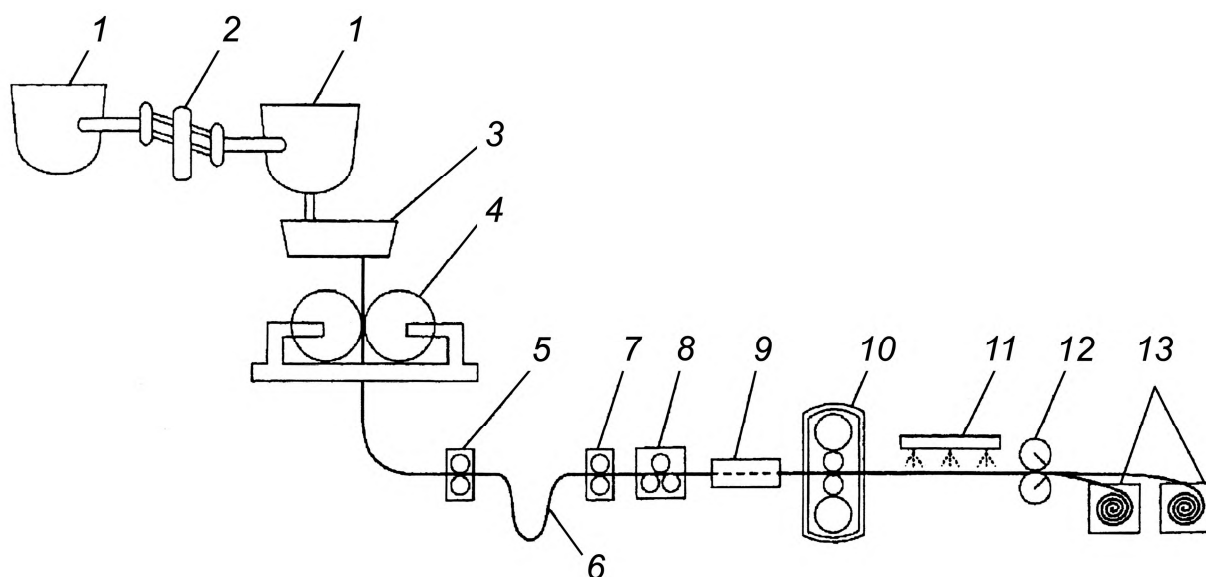


Рис. 14.8. Схема тонколистового ЛПА:

- 1 - разливочный ковш; 2 - поворотный стэнд; 3 - промежуточный ковш; 4 - двухвалковая МНЛЗ; 5 - тянущие ролики; 6 - петлеобразователь; 7 - подающие ролики; 8 - роликоправильная машина; 9 - индукционная печь; 10 - прокатная клеть; 11 - установка ламинарного охлаждения; 12 - летучие ножницы; 13 - моталки.

Петлеобразователь, установленный в линии ЛПА на стыке литейного и прокатного участков, необходим для компенсации возможных

рассогласований в скорости движения полосы на этих участках, а также центрирования полосы по оси прокатки. Индукционная проходная печь служит для подогрева заготовки до заданной температуры. Прокатная клеть предназначена для повышения точности, улучшения качества поверхности и обеспечения требуемого уровня свойств полосы.

Из табл. 14.2, где сведены параметры различных видов разливки стали, следует, что тонколистовые ЛПА выделяются высокой степенью отвода тепла в зоне кристаллизации, очень высокой скоростью охлаждения и качественной микроструктурой металла.

Таблица 14.2

Параметры разливки и кристаллизации стали в различных МНЛЗ.

Параметры	Слябовая МНЛЗ	Тонкослябовая МНЛЗ	Тонколистовая МНЛЗ
Толщина литой заготовки, мм	220	50	1,6
Скорость разливки, м/мин.	2	6	80
Время кристаллизации, с	1070	45	0,15
Средняя скорость охлаждения в зоне кристаллизатора, °С/с	12	50	1700
Интенсивность теплоотвода от расплава, МВт/м ²	1,0	2,5	14,0

В цветной металлургии для выпуска тонколистового проката наибольшее распространение получили двухвалковые МНЛЗ с горизонтальным направлением литья типа «Джумбо-3С» фирмы «Пешине» (Франция) и под углом 15° к горизонту типа «Супер-Кастер» фирмы «Фата Хантер» (Италия). Валковые системы в установках расположены вертикально или с наклоном, подача расплава в валки осуществляется сбоку, как показано на рис. 14.9.

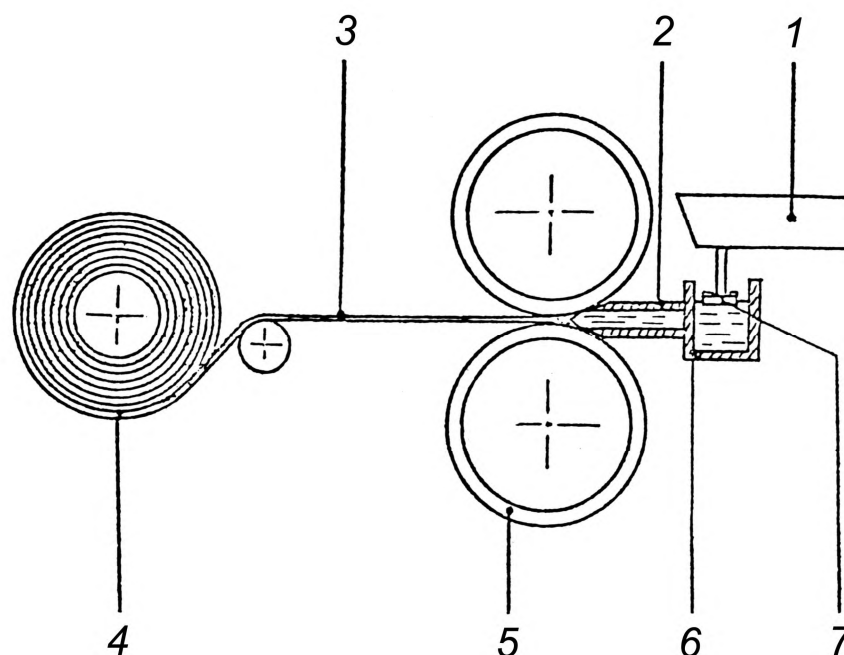


Рис. 14.9. Схема горизонтальной двухвалковой МНЛЗ для получения тонких полос из алюминиевых сплавов:

1 - металлопровод; 2 - распределительная коробка; 3 - полоса; 4 - рулон; 5 - валок кристаллизатора; 6 - промежуточная емкость; 7 - поплавковое устройство контроля уровня.

На подобных МНЛЗ получают тонколистовой прокат из различных алюминиевых сплавов толщиной 1,1...6,0 мм при ширине до 2300 мм. Скорость литья достигает 60...80 м/мин.

14.4. ЛПА для производства катанки

Совмещенный метод литья и прокатки с использованием кристаллизаторов роторного типа впервые был применен фирмой Проперци (Италия) для получения катанки из алюминиевых и медных сплавов. На рис. 14.10 приведена принципиальная схема МНЛЗ с кристаллизатором роторного типа в виде желобчатого обода водоохлаждаемого колеса, обтянутого снаружи стальной лентой с углом охвата 180°.

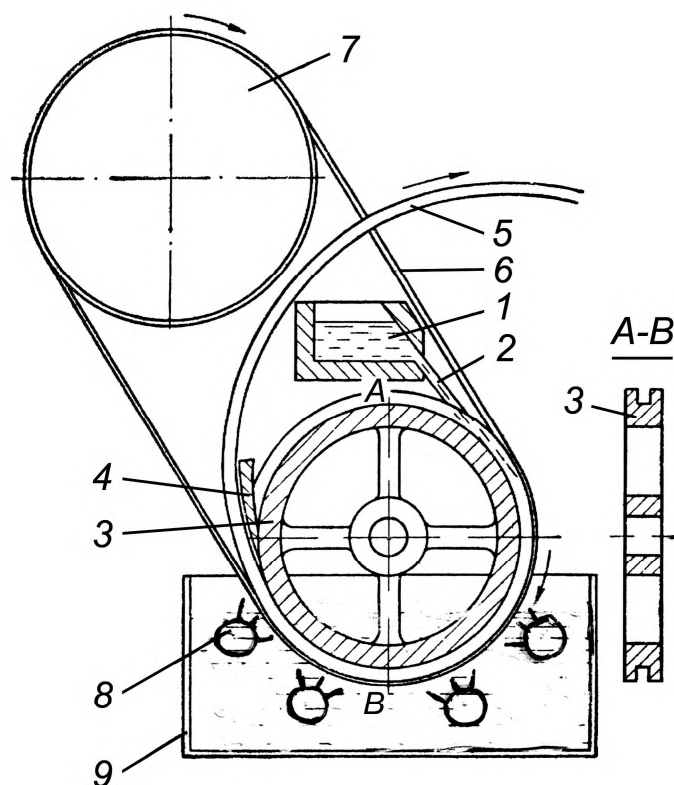


Рис. 14.10. Схема МНЛЗ роторного типа:

- 1 - ванна с расплавом; 2 - металлопровод; 3 - медный кристаллизатор;
 4 - съемник отлитой заготовки; 5 - отлитая заготовка; 6 - стальная лента;
 7 - шкив; 8 - система струйного охлаждения; 9 - бак водяной.

МНЛЗ роторного типа имеет натяжной шкив и литейное колесо. Из ванны с расплавленным металлом расплав поступает в кольцевую полость, образованную выточкой в ободу медного колеса (ротора) и стальной лентой. После затвердевания литая заготовка съемником отделяется от ротора и поступает в валки прокатного стана. Охлаждающая вода подводится к колесу по полному валу, на котором оно закреплено. Стальную ленту охлаждают водой, поступающей из системы струйного охлаждения.

Установки подобного типа (рис. 14.11) изготавливают в РФ и за рубежом. В основном они предназначены для производства проволочной заготовки из алюминия, меди, цинка.

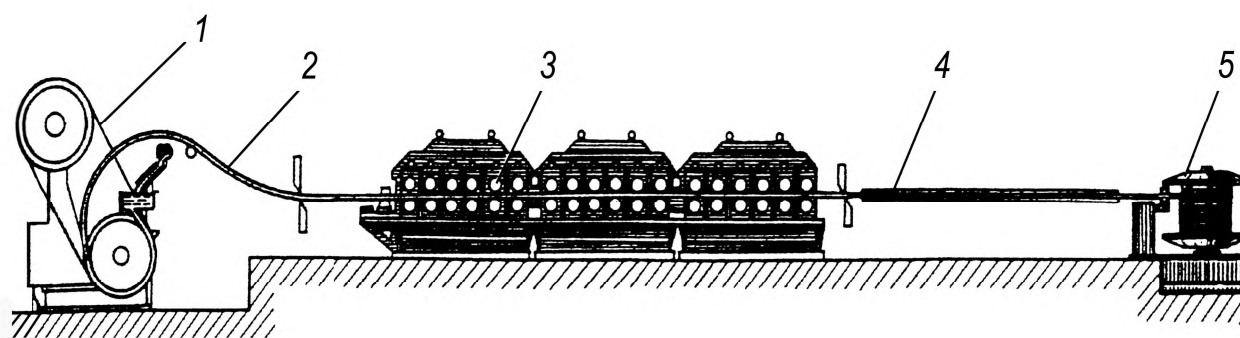


Рис. 14.11. Типовая схема агрегата непрерывного литья и прокатки медной катанки:

1 - литейная машина роторного типа; 2 - линия транспортировки полосы от литейной машины к прокатному стану; 3 - прокатный стан; 4 - линия травления и консервации катанки; 5 - моталка.

ЛПА с МНЛЗ роторного типа находят широкое применение в промышленности, особенно для производства заготовок, используемых для получения кабельной продукции. Площадь сечения отливаемых слитков достигает 3500 мм^2 , скорость литья – до 14 м/мин. Диаметр прокатываемой катанки составляет 8,0...16,0 мм.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные схемы МНЛЗ.
2. Назовите типы МНЛЗ в зависимости от поперечного сечения заготовки.
3. Какие факторы затрудняют совмещение непрерывного литья и прокатки?
4. Назовите основные способы получения заготовок толщиной, близкой к конечной толщине полосы.
5. Назовите основные узлы установки непрерывного литья.
6. Для какой цели используется поворотный стол?
7. Объясните назначение промежуточного ковша.
8. Какие функции выполняет кристаллизатор?
9. Что такое зона вторичного охлаждения?
10. Объясните назначение механизма качания кристаллизатора.
11. Для чего применяют роликовые проводки?
12. Используя рис. 3.1, объясните принцип работы вертикальной МНЛЗ.
13. Назовите достоинства вертикальных МНЛЗ.
14. Назовите недостатки вертикальных МНЛЗ.
15. Используя рис. 3.2, объясните принцип работы МНЛЗ вертикального типа для алюминиевых сплавов.
16. Используя рис. 3.3, объясните формирование непрерывно-литого слитка электромагнитным полем.
17. Объясните величины, входящие в формулу статического момента на валу электродвигателя тянущий клетки вертикальной МНЛЗ
$$M_{\text{двиг}} = \frac{(F_{\text{пр}} - G_{\text{зам}} - g_{\text{ск}} \cdot H_1) \cdot D_в}{2 \cdot i \cdot \eta} + M_2 + M_3$$
18. Объясните величины, входящие в формулу момента сопротивления качения слитка в валках вертикальной МНЛ
$$M_2 = \frac{F_{\text{приж}} \cdot f_{\text{кач}} \cdot D_в}{i \cdot \eta}$$
19. Объясните величины, входящие в формулу момента сопротивления

качения слитка в валках вертикальной МНЛ $M_3 = \frac{F_{\text{приж}} \cdot f_{\text{опор}} \cdot d_{\text{опор}}}{i \cdot \eta}$

20. Назовите достоинства горизонтальных МНЛЗ.
21. Назовите недостатки горизонтальных МНЛЗ.
22. Используя рис. 4.1, объясните принцип работы горизонтальной МНЛЗ.
23. Объясните назначение разделительного кольца.
24. Объясните принцип работы механизма вытягивания слитка из кристаллизатора горизонтальной МНЛЗ.
25. Используя рис. 5.1, объясните принцип работы МНЛЗ радиального типа.
26. Назовите достоинства МНЛЗ радиального типа.
27. Назовите недостатки МНЛЗ радиального типа.
28. Как вводится и отводится затравка в слябовой МНЛЗ радиального типа?
29. Для какой цели используется поворотный стенд МНЛЗ?
30. Объясните назначение промежуточного ковша МНЛЗ радиального типа.
31. В какой части роликовых проводок применяют неприводные ролики?
32. В какой части роликовых проводок применяют приводные ролики?
33. Назовите основные отличия сортовых МНЛЗ от слябовых МНЛЗ.
34. Используя рис. 5.6, объясните принцип работы устройства для замены стакак-дозатора.
35. Назовите особенности работы промковша многоручьевого сортовой МНЛЗ.
36. Используя рис. 5.7, объясните принцип работы системы распределения потоков стали в промежуточном ковше сортовой МНЛЗ.
37. Используя рис. 5.8, объясните принцип работы пятиручьевого промежуточного ковша сортовой МНЛЗ с многогранным упором.
38. Объясните величины, входящие в формулу расчета толщины нарастающей корочки сляба $\delta = k_{\text{охл}} \cdot \sqrt{\frac{L_{\text{зво}}}{U}}$
39. Объясните величины, входящие в формулу расчета

производительность МНЛЗ $\Pi = 60 \cdot B \cdot H \cdot U \cdot \rho$.

40. Какие факторы необходимо учитывать при конструировании кристаллизаторов МНЛЗ.
41. Назовите основные типы кристаллизаторов.
42. Назовите достоинства и недостатки составных кристаллизаторов.
43. Используя рис. 7.1, объясните принцип работы составного кристаллизатора для отливки плоских слитков.
44. Назовите достоинства и недостатки петлевой системы охлаждения кристаллизатора.
45. Назовите достоинства и недостатки проточной системы охлаждения кристаллизатора.
46. Назовите достоинства и недостатки гильзовых кристаллизаторов.
47. Назовите основные требования, предъявляемые к материалу стенки кристаллизатора.
48. Назначение механизма качания кристаллизатора.
49. Назовите основные типы механизмов качания кристаллизаторов.
50. Объясните величины, входящие в формулу расчета силы трения поверхности слитка о стенки кристаллизатора $F_{тр} = 0,5 \cdot f \cdot \Pi \cdot (l_k)^2 \cdot \rho_{ж} \cdot g$.
51. Что такое ферростатическое давление?
52. Охарактеризуйте назначение роликовых проводок.
53. Как изменяется количество приводных роликов по технологической оси МНЛЗ?
54. Используя рис. 9.1, объясните принцип работы неприводной роликовой проводки.
55. Используя рис. 9.2, объясните принцип работы устройства подвода охлаждающей воды через невращающуюся трубу.
56. Используя рис. 9.3, объясните конструкцию роликовой секции с гидравлическим прижатием роликов.
57. Используя рис. 9.3, объясните конструкцию четырехроликовой секции, разработанной во ВНИИметмаше.
58. Используя рис. 9.6, объясните принцип работы устройства подвода охлаждающей воды через вращающуюся трубу.

59. Объясните величины, входящие в формулу расчета момента пластического изгиба слитка $M_u = 0,25 \cdot \sigma_s \cdot (B \cdot H^2 - b_{ж} \cdot h_{ж}^2)$
60. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимого для разгиба (выпрямления) слитка $M_{раз} = \frac{M_u \cdot d_p}{2 \cdot R}$
61. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимого для вытягивания слитка роликами проводки из кристаллизатора $M_{выт} = 0,5 \cdot F_{выт} \cdot d_p$
62. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимого для преодоления сил трения при вращении роликов проводки $M_{мп} = F_{\Sigma} \cdot \left(\mu + f \frac{d_w}{2} \right) = (F_{приж} + G_{сл} + G_{рол}) \cdot \left(\mu + f \frac{d_u}{2} \right)$
63. Объясните величины, входящие в формулу расчета общей мощности электроприводов роликовых проводок $P_{\Sigma} = \frac{(M_{раз} + M_{выт} + M_{мп}) \cdot n}{9550 \cdot \eta}$
64. Какие факторы надо учитывать при расчете момента и мощности привода роликов на радиальном участке?
65. Какие факторы надо учитывать при расчете момента и мощности привода роликов на участке выпрямления слитка?
66. Используя рис. 10.1, объясните расчетную схему секции радиального участка роликовой проводки.
67. Объясните величины, входящие в формулу расчета площади поверхности слитка в пределах роликовой секции, находящаяся под действием ферростатического давления $A_{\phi} = (B - 2 \cdot \delta) \cdot R \cdot \varphi$
68. Объясните величины, входящие в формулу расчета силы тяжести слитка в пределах роликовой секции.
69. Объясните формулу для определения полного усилия, действующее на опоры нижних роликов секции: $F_{нр} = F_{\phi} + Q + z_{нр} \cdot G_{нр}$.
70. Объясните формулу для определения полного усилия, действующее на опоры верхних роликов секции: $F_{вр} = F_{\phi} - z_{вр} \cdot G_{вр}$.

71. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимого для вращения нижних роликов секции

$$M_{нр} = (F_{\phi} + Q) \cdot \mu + F_{нр} \cdot f \cdot \frac{d_{ч}}{2}.$$

72. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимого для вращения верхних роликов секции

$$M_{вр} = F_{\phi} \cdot \mu + F_{вр} \cdot f \cdot \frac{d_{ч}}{2}.$$

73. Объясните величины, входящие в формулу расчета момента пластического изгиба слитка $M_{изг} = \sigma_s \cdot \frac{B \cdot H^2}{4}$.

74. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимый для преодоления сопротивления вращению нижних роликов секции $M_{нр} = (F_{рол} + G) \cdot \mu + (F_{рол} + G + z_{нр} \cdot G_{нр}) \cdot f \cdot \frac{d_{ч}}{2}$.

75. Объясните величины, входящие в формулу расчета крутящего момента, необходимый для преодоления сопротивления вращению верхних роликов секции $M_{вр} = F_{рол} \cdot \mu + (F_{рол} - z_{вр} \cdot G_{вр}) \cdot f \cdot \frac{d_{ч}}{2}$.

76. Используя рис. 11.2, объясните работу система регулирования ширины распыления.

77. Используя рис. 11.3, объясните работу система независимого регулирования распыления по ширине слитка.

78. Используя рис. 11.5, объясните принцип действия водовоздушной форсунки.

79. Используя рис. 12.1, объясните конструкцию цепной затравки радиальной МНЛЗ.

80. Какую форму имеет головка затравки?

81. Назовите достоинства и недостатки гибкой затравки.

82. Назовите достоинства и недостатки жесткой затравки.

83. Используя рис. 12.3, объясните принцип действия механизма для ввода затравки в кристаллизатор снизу.

84. Используя рис. 12.4, объясните принцип действия механизма подачи затравки на ось ручья сортовой МНЛЗ.
85. Назовите достоинства и недостатки машины газовой резки заготовок.
86. Назовите достоинства и недостатки ножниц резки заготовок.
87. Используя рис. 13.1, объясните принцип действия машины газовой резки заготовок.
88. Объясните схему расположения оборудования литейно-прокатного агрегата CSP.
89. Опишите особенности конструкции тонкослябового кристаллизатора, разработанного во ВНИИметмаше.
90. Используя рис. 14.3, объясните принцип действия полосовой МНЛЗ с кристаллизатором ленточного типа.
91. Используя рис. 14.3, объясните принцип действия полосовой МНЛЗ с кристаллизатором тракового типа.
92. Объясните схему расположения оборудования литейно-прокатного агрегата методом DSC.
93. Объясните схему процесса литья при разливке металла между двумя валками.
94. Какие требования предъявляются к валкам-кристаллизаторам?
95. Опишите особенности конструкции валька-кристаллизатора с односторонним подводом-отводом.
96. Объясните схему расположения оборудования тонколистового литейно-прокатного агрегата.
97. Объясните принцип действия горизонтальной двухвалковой МНЛЗ для получения тонких полос из алюминиевых сплавов.
98. Объясните принцип действия МНЛЗ роторного типа.
99. Объясните схему расположения оборудования агрегата непрерывного литья и прокатки медной катанки.

Заключение

Производство металлов на машинах непрерывного литья заготовок постоянно увеличивается во всем мире, при этом технология и оборудование МНЛЗ совершенствуются как в России, так и в ведущих промышленных странах.

Из-за ограниченного объема учебника не удалось рассмотреть ряд интересных конструктивных решений, направленных на эффективность использования МНЛЗ и повышение качества металла, среди них новые конструкции кристаллизаторов и механизмов их качания, различные типы промежуточных ковшей и устройств для регулирования подачи металла, совершенствование систем вторичного охлаждения и др.

Значительных успехов в области традиционной разливки стали достигли японские металлурги. На многих заводах используются МНЛЗ, которые имеют вертикальный участок зоны вторичного охлаждения с последующим изгибом заготовки в горизонтальное положение. На основе проведенных исследований разработана технология мягкого обжатия заготовки с не полностью затвердевшей сердцевинной и предложены оригинальные конструкции поддерживающих систем в зоне вторичного охлаждения. Продолжается совершенствование систем электромагнитного воздействия на кристаллизирующийся металл.

В черной металлургии прогнозируется строительство минизаводов с использованием установок непрерывной отливки полосы, предназначенных для производства порядка 500 тыс. тонн в год горячекатаных полос. Следует отметить, что полученная продукция может заменить не только обычную тонкую горячекатаную полосу, но и значительную часть холоднокатаных полос. Такие предприятия весьма эффективны в небольших странах и удаленных регионах крупных стран.

По мнению большинства специалистов, в настоящее время непрерывная разливка переживает период интенсивного развития и в ближайшие годы будет основным источником производства заготовок широкого сортамента из различных металлов и сплавов.

Библиографический список

1. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справочное руководство. - М.: Металлургия, 1970. - 416 с.
2. ВНИИМЕТМАШ и металлургическое машиностроение / В.Г. Дрозд, Б.А. Сивак, А.В. Протасов. – Под общ. ред. Н.В. Пасечника; ГНЦ РФ «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения им. академ. А.И. Целикова». – М.: Наука, 2009. – 551 с.
3. Дукмасов, В.Г. Современные технологии и оборудование черной металлургии: Монография /В.Г. Дукмасов, Л. Агеев. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012. – 370 с.
4. Емельянов, В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. Учебное пособие / В.А. Емельянов. - М.: Металлургия, 1988. - 143 с.
5. Коновалов, Ю.В. Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов / Ю.В.Коновалов // Прокатное производство. – 2009. - №9-12; 2010. - №1.
6. Лукашкин, Н.Д. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов. Учебник / Н.Д. Лукашкин, Л.С. Кохан, А.М. Якушев. - М.: - ИКЦ Академкнига, 2003. - 456 с.
7. Лякишев, Н.П. Развитие технологии непрерывной разливки стали / Н.П.Лякишев, А.Г. Шалимов— М.: Элиз, 2002. - 208 с.
8. Макаров, Г.С. Непрерывное горизонтальное литье алюминиевых сплавов: статус и перспективы / Г.С.Макаров // Технология легких сплавов. – 2010. - №1.
9. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 томах. Том IV-5. Машины и агрегаты металлургического производства / Н.В.Пасечник, В.М. Сеницкий, В.Г. Дрозд [и др.]. – М.: Машиностроение, 2000. – 912 с.
10. Машины и агрегаты металлургических заводов в 3-х томах: учебник для вузов /А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник [и др.]. – М.: Металлургия, т. 1 – 1976, т. 2 – 1978, т. 3 – 1983.

11. Машины непрерывного литья металлов и литейно-прокатные агрегаты. Труды ВНИИМЕТМАШ. №41. - М.: Metallurgy, 1975. - 176 с.
12. Нисковских, В.М. Машины непрерывного литья слябовых заготовок /В.М. Нисковских, С.Е.Карлинский, А.Д.Беринов – М.: Metallurgy, 1991. – 272 с.
13. Паршин, В.М. Непрерывная разливка стали /В.М. Паршин, Л.В. Буланов. – Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. – 221 с.
14. Протасов, А.В. Машины и агрегаты металлургического производства. Агрегаты внепечной обработки жидкой стали: курс лекций /А.В. Протасов. – М.: Изд. дом МИСиС, 2009. – 182 с.
15. Протасов, А.В. Оборудование для внепечной обработки стали /А.В. Протасов, Н.В. Пасечник, Б.А. Сивак. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2010. – 415 с.
16. Салганик, В.М. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос: учебное пособие / В.М.Салганик, И.Г.Гун, А.С.Карандаев, А.А.Радионон. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003, - 506 с.
17. Сивак, Б.А., Технологические основы проектирования прокатных комплексов: сортовые и полосовые литейно-прокатные агрегаты для металлургических мини-заводов: курс лекций / Б.А.Сивак, А.В. Протасов. - М.: МИСиС. 2010. - 77 с.
18. Смирнов, А.П. Металлургические мини-заводы / А.Н.Смирнов, В.М.Сафонов, Л.В.Дорохова, А.Ю.Цупрун. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – 469 с.
19. Целиков, А.И. Металлургические машины и агрегаты: настоящее и будущее /А.И. Целиков. - М.: Metallurgy, 1979. - 144 с.

НЕФЕДОВ А.В.

ЧИЧЕНЕВ Н.А.

ШУР И.А.

МАШИНЫ И АГРЕГАТЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Учебник для студентов, обучающихся по специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование» и направлениям подготовки бакалавров 150400 «Металлургия» и 151000 «Технологические машины и оборудование», всех форм обучения.

Подписано в печать 19.04.2014		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег.№ 41	Печать офсетная Тираж 500 экз.	Уч.-изд.л. 12,5

ФГАОУ ВПО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nfmisis@yandex.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.

