

УДК 621.74.047

НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК

Титова Вероника Владимировна

*Студент 2 курса,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Е.В. Лагошина,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Способ непрерывного литья заготовок является одним из важнейших достижений металлургии XX века. За сравнительно короткий период времени получил широкое распространение в мировом сталеплавильном производстве. Промышленное внедрение МНЛЗ (машин непрерывного литья заготовок) ознаменовало начало нового этапа в развитие черной металлургии.

Существенные преимущества непрерывных методов литья, predeterminedили высокий интерес специалистов литейного производства к использованию данных процессов в машиностроении. Увеличение выхода годного литья, до 85 – 90% снижение припусков на механическую обработку, улучшение качества заготовок, возможность автоматизации и механизации производства, улучшение условий труда. Все это способствует значительному расширению области применения непрерывных методов литья из различных металлов и сплавов.

Процесс получения заготовок из железоуглеродистых и цветных металлов и сплавов, методами непрерывного литья наиболее полно отвечает современным требованиям экологических стандартов, является экономически целесообразным, с точки зрения ресурсосбережения и качества производимых отливок .

По сравнению с литьем в разовые песчано-глинистые формы способ позволяет увеличить выход годного литья до 90 – 92%, уменьшить себестоимость отливок на 30-50%, повысить производительность труда в 2 – 4 раза, при существенном снижении количества брака.

Наряду с повышением размерной точности и качества отливок, значительно снижаются капитальные затраты на организацию производства литых заготовок, упрощается процесс его автоматизации, повышается общая культура производства. Помимо непосредственного прямого применения непрерывно-литых заготовок для изготовления широкой номенклатуры деталей машиностроения существует реальная возможность обеспечения литыми заготовками.

Назначение и типы МНЛЗ

Общая схема МЛНЗ представлена на рисунке 1.

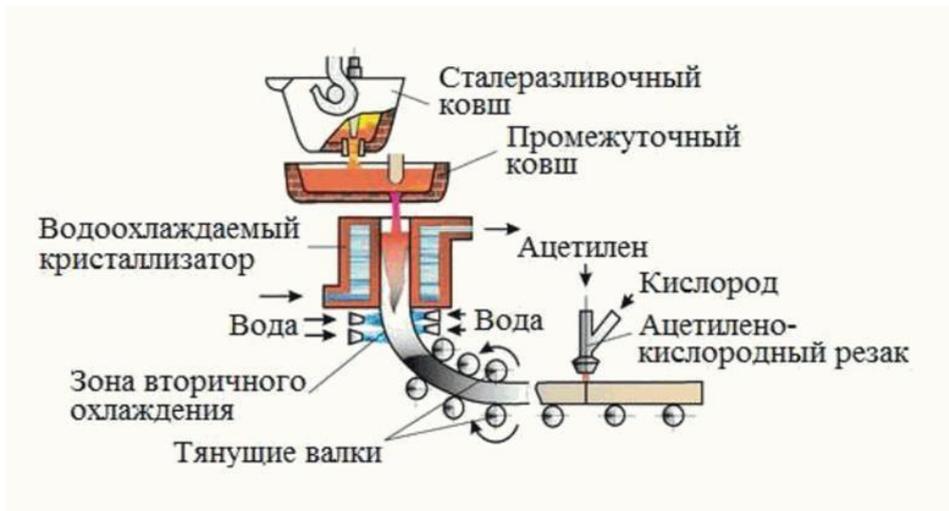


Рисунок 1 – Общая схема МНЛЗ

Изначально жидкая сталь попадает в сталеразливочный ковш, который служит для приемки металла, ковшевой обработки и его разливки. Вид сталеразливочного ковша показан на рисунке 2.

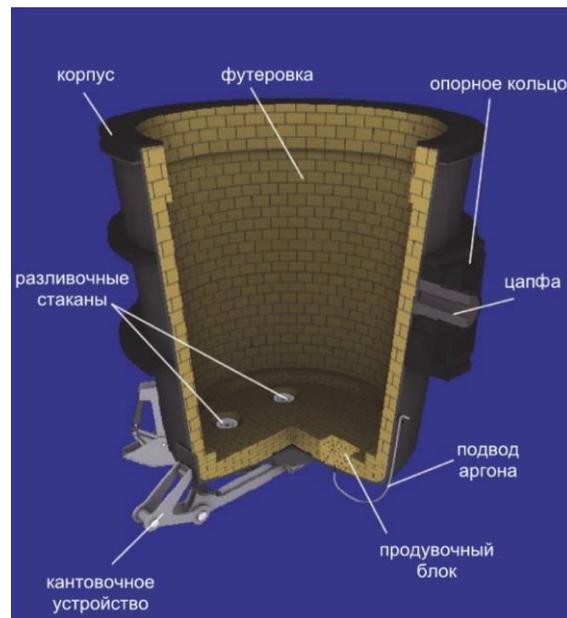
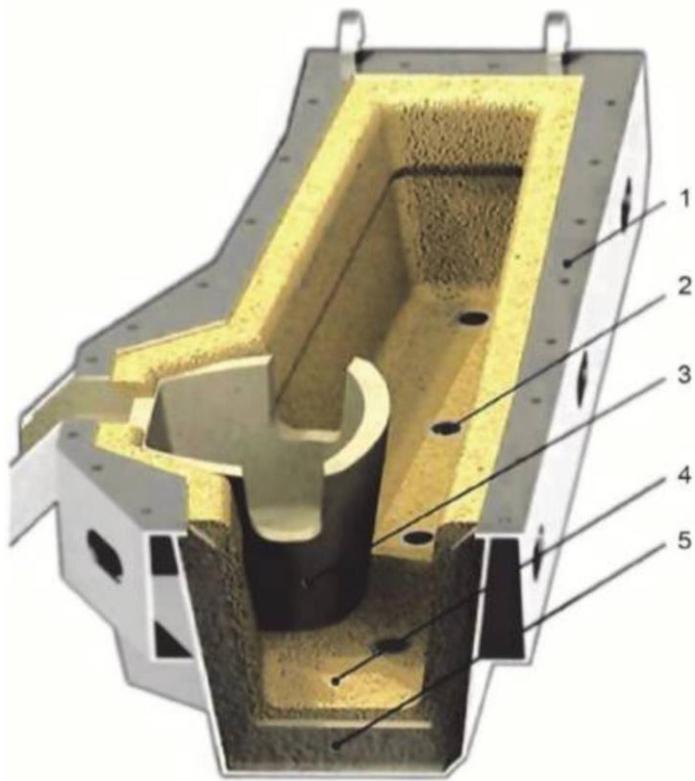


Рисунок 2 - Вид сталеразливочного ковша в разрезе

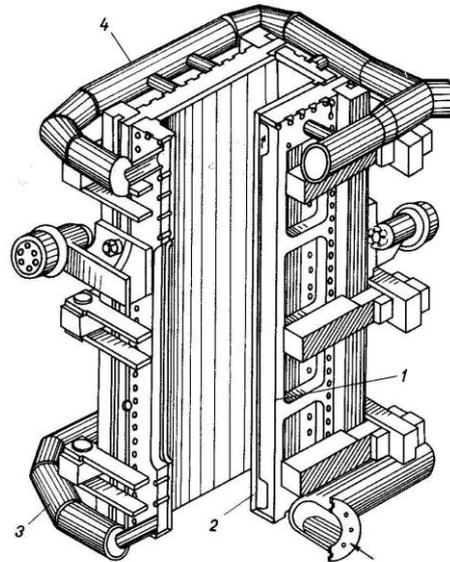
После сталеразливочного ковша металл попадает в промежуточный ковш (рисунок 3).



1 – корпус, 2 – разливочный стакан, 3 – металлоприемник, 4 – торкретслой футеровки,
5 – рабочий слой футеровки

Рисунок 3 – Общий вид промежуточного ковша шестиручьевой МЛНЗ

Он выполняет следующие функции: распределение поступающего из сталеразливочного ковша металла в несколько кристаллизаторов; обеспечение стабильности процесса разливки; рафинирование металла от неметаллических включений. Из промежуточного ковша металл попадает в кристаллизатор. В конструктивном плане кристаллизатор (рисунок 4) представляет собой сборочную единицу, в состав которой входит внутренняя медная рубашка, непосредственно контактирующая с расплавленным металлом, и жесткий стальной корпус, выполняющий функцию фиксирования медной рубашки.

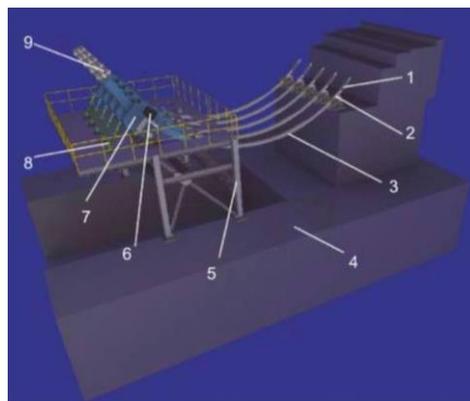


1- стальной кожух, 2- внутренняя медная стенка, 3- подводящий воду патрубков, 4- отводящий воду патрубков

Рисунок 4 - общая схема кристаллизатора МНЛЗ

Основное требование к кристаллизатору - это получение однородной затвердевающей оболочки в заготовке посредством эффективной однородной теплопередачи. Кристаллизатор является одной из ключевых частью МНЛЗ.

Перед началом разливки в кристаллизатор вводится специальное устройство с замковым захватом "затравка" как дно для первых порций металла. Для транспортировки и хранения жесткой затравки используется специальное оборудование (рисунок 5)



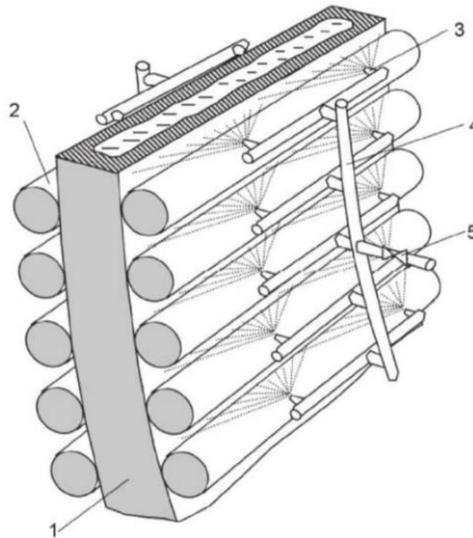
1 - головка затравки; 2 - опорный ролик; 3 - тело затравки; 4 - рабочая площадка; 5 - металлоконструкция; 6 - устройство для протягивания затравки внутри приемника; 7 - корпус приемника; 8 – гидроцилиндр; 9 - задний направляющий ролик

Рисунок 5 - Устройство для транспортировки и хранения жесткой затравки на радиальной МНЛЗ

После затвердевания металла у стенок кристаллизатора затравка при помощи тянущих механизмов вытягивается из кристаллизатора, увлекая за собой

формирующийся слиток. Поступление жидкого металла продолжается и слиток непрерывно наращивается.

В кристаллизаторе затвердевают лишь поверхностные слои металла, образуя твердую оболочку слитка, имеющего жидкую фазу по центральной оси. Поэтому за кристаллизатором расположена зона вторичного охлаждения, называемая также второй зоной кристаллизации (рисунок 6).



1 – заготовка; 2 – опорный ролик; 3 – форсунка; 4 – подводящий коллектор; 5 – задвижка
Рисунок 6 – Схема вторичного охлаждения слитковой непрерывнолитой заготовки

В этой зоне в результате форсированного поверхностного охлаждения того или иного вида заготовка затвердевает по всему сечению. Этот процесс слиткообразования является способом получения слитков неограниченной длины. Благодаря непрерывности литья и кристаллизации достигается полная равномерность структуры слитка по всей его длине.

Для разделения отлитой непрерывнолитой заготовки в потоке на заданные мерные части служат специальные устройства. Они устанавливаются в конце технологической линии МНЛЗ. К таким устройствам относятся машины газовой резки (рисунок 7) и гидравлические ножницы (рисунок 8).



Рисунок 7 – Газовая резка непрерывнолитого слитка

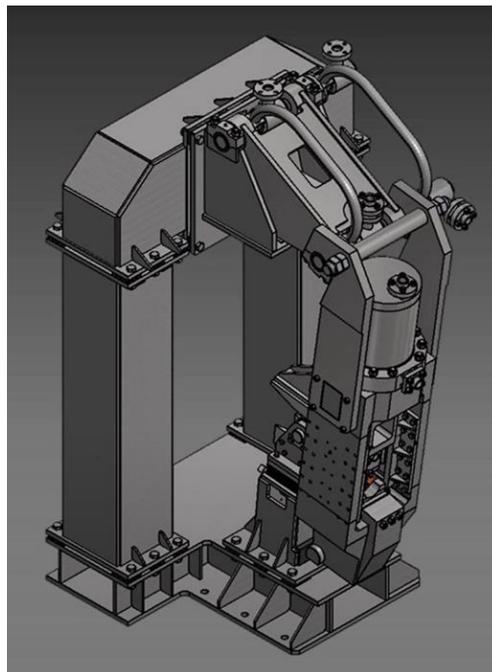
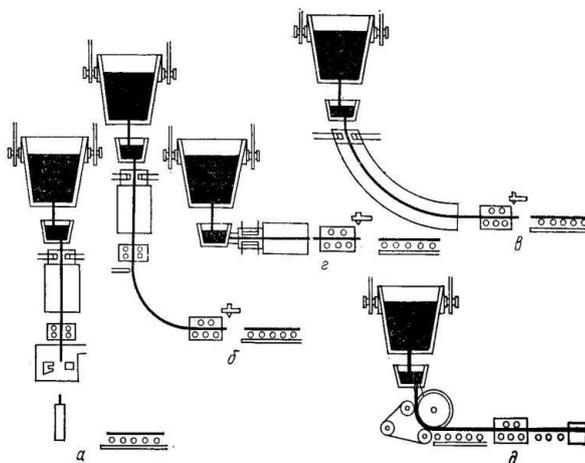


Рисунок 8 – Гидравлические ножницы

Одним из основных аспектов классификации МНЛЗ является расположение их технологической оси в соответствии с рисунком 9 .



1- вертикальная, 2- радиальная, 3– криволинейная, 5 - горизонтальная, 6 - роторная

Рисунок 9 - Типы осей МНЛЗ

По типу отливаемой заготовки МНЛЗ подразделяются на:

- 1) слябовые ,
- 2) сортовые,
- 3) блюмовые ,

На слябовых машинах отливаются заготовки, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника с отношением большей стороны (ширины) к меньшей стороне (толщине) больше двух. Эти заготовки предназначены для производства из них листового металлопроката.

На блюмовых и сортовых МНЛЗ отливаются заготовки, которые в своем поперечном сечении представляют собой круг, квадрат или прямоугольник с отношением ширины к толщине меньше двух. При размере стороны заготовки более 200 мм они называются блюмовыми, а при меньшем размере - сортовыми.

Из таких заготовок производится сортовой прокат: уголок, швеллер, круг, квадрат и другие виды.

По количеству ручьев МНЛЗ бывают одно- и многоручьевыми. Обычно количеству ручьев машины соответствует количество используемых кристаллизаторов. Чем больше кристаллизаторов используется для разлива стали из сталеразливочного и промежуточного ковшей, тем выше производительность МНЛЗ, но сложнее и дороже оборудование. Слябовые машины чаще всего бывают двух-, трех- и четырехручьевыми, блюмовые - четырехручьевыми, а сортовые имеют от четырех до восьми ручьев.

По характеру движения кристаллизатора различаются следующие типы МНЛЗ:

- 1) с неподвижным кристаллизатором; к ним относится горизонтальная МНЛЗ,
- 2) с возвратно-поступательным движением; кристаллизатор, определенный период движется одновременно со слитками или, опережая его, а затем возвращается в начальное положение; к этому типу машин относится основное количество установок непрерывной разлива стали,
- 3) с кристаллизатором,двигающимся со скоростью слитка; это обеспечивает отсутствие скольжения оболочки слитка относительно кристаллизатора и, следовательно, трения между ними, что снижает вероятность разрыва оболочки при высоких скоростях разлива; к этому типу МНЛЗ относится так называемая роторная (валковая) МНЛЗ.

Вертикальные МНЛЗ

Машины вертикального типа (рисунок 10) применялись на первом этапе промышленного освоения непрерывной разлива стали. На них можно разливать сталь любого сортамента, включая высококачественный, средне- и высоколегированный металл. При разливе на вертикальных машинах имеются благоприятные условия для получения непрерывнолитой заготовки высокого качества: с симметричным кристаллическим строением, низким содержанием неметаллических включений и растворенных газов, отсутствием дефектов макроструктуры и на поверхности.

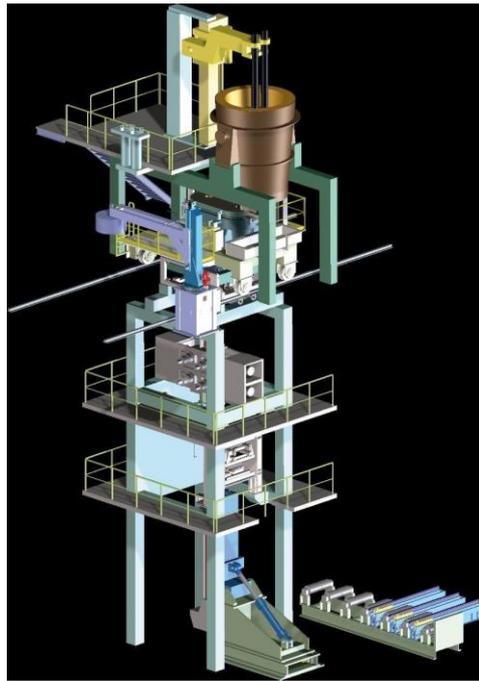


Рисунок 10 – модель вертикальной МНЛЗ

Одна из особенностей данного типа машин заключается в том, что тянущее устройство выполняется в виде клетки, как правило, с четырьмя валками-роliками большого диаметра. Все они обычно являются приводными. Прижатие их к заготовке производится при помощи гидроцилиндров. Для устранения пробуксовки осуществляется небольшое обжатие заготовки в тянущей клетке.

Прочность корочки затвердевающего слитка, выходящего из кристаллизатора, невелика, и поэтому для предупреждения ее выпучивания и разрыва за кристаллизатором устанавливают роликовую проводку, которая оборудована продольными и поперечными роliками, как показано на рисунке

11 расположенными напротив четырех граней слитка.



Рисунок 11 – Литейные роliки

Для разделения заготовки на мерные части на вертикальных машинах. наиболее широко используют машины газовой резки, обладающие относительной простотой конструкции, малой металлоемкостью и возможностью быстрой замены вышедших из строя узлов. На рисунке 12 представлен технологический процесс – разрезание сляба с помощью машины газовой резки на вертикальной МНЛЗ.



Рисунок 12 – разрезание сляба на вертикальной МНЛЗ

Машина газовой резки перемещается по рельсам вдоль технологической оси МНЛЗ на специальной эстакаде. На раме смонтирован механизм для ее сцепления с заготовкой и обеспечения синхронного движения. Он включает в себя каретки с захватами, перемещаемые с помощью пневмопривода в направлении, перпендикулярном оси заготовки. Во время рабочего хода машина передвигается вместе с заготовкой. В это время заготовка разделяется резаками, расположенными на суппортах, которые могут перемещаться в горизонтальном направлении при помощи электропривода.

Фактором, ограничивающим применение вертикальных МНЛЗ, является невозможность достижения высоких скоростей литья, при которых значительно возрастает их металлургическая длина (глубина лунки жидкого металла). Глубина лунки определяется из формулы:

$$L_l = KH^2v$$

где L_l - глубина лунки, м;

K - коэффициент полного затвердевания слитка ($K = 340$ мин/м);

H - толщина слитка, м;

v - скорость вытягивания слитка, м/мин

Анализируя эту формулу, можно определить общую высоту вертикальной МНЛЗ, которая при повышенных скоростях разливки составит 30-40 м. При этом возрастает ферростатическое давление жидкой фазы и нагрузки на опорные элементы системы вторичного охлаждения, что вызывает необходимость сокращения межосевых расстояний роликов. Расчеты показывают, что МНЛЗ вертикального типа целесообразно применять при металлургической длине машины, не превышающей 12 м. Дальнейшее увеличение металлургической длины

приводит к усложнению конструкции машины, значительному увеличению массы оборудования и необходимости строительства глубоких колодцев или башен, имеющих большую высоту.

Радиальные и криволинейные МНЛЗ

Стремление снизить высоту оборудования привело к созданию машин с расположением технологических узлов по криволинейной оси, а именно разработка машин радиального и криволинейного типа изображенные на рисунках 13 и 14 соответственно .



Рисунок 13 – модель радиальной МНЛЗ



Рисунок 14 – модель криволинейной МНЛЗ

В радиальных МНЛЗ на выходе из кристаллизатора слиток движется по дуге с постоянным радиусом. После прохождения нижней точки дуги полностью затвердевший слиток разгибают, переводя его в горизонтальное положение.

В криволинейных машинах слиток вначале движется по дуге, определяемой радиусом кривизны кристаллизатора, а затем еще в зоне вторичного охлаждения радиус кривизны дуги увеличивается, т. е. происходит постепенное разгибание слитка с жидкой сердцевиной с последующим переводом в горизонтальное положение. Рассредоточение деформации имеет цель снизить возникающие при этом в корке слитка напряжения и вероятность возникновения трещин. Машины конструируют так, что горизонтальное движение слитка осуществляется на уровне пола цеха. На этом же участке производят резку слитка на куски мерной длины.

В целом МНЛЗ с криволинейной технологической осью обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с вертикальными, большая скорость разливки и возможность принимать большегрузные плавки; уменьшение в 3-4 раза высоты установки; возможность получения неограниченного по длине слитка; капитальные затраты на 30-50% ниже при равной производительности; облегчается обслуживание МНЛЗ, так как основное технологическое оборудование располагается над уровнем пола цеха; возможность резки слитка на куски большой длины. Недостатки можно выделить следующие: сложность конструкции криволинейной зоны вторичного охлаждения; необходимость иметь выпрямляющий механизм, а в случае установки с изгибом заготовки - и тянуще-изгибающий механизм; трудности в обеспечении равномерного охлаждения слитка по грани большого и малого радиусов в зоне вторичного охлаждения, в результате чего возможно неоднородное строение слитка.

Горизонтальные МНЛЗ

Конструкция горизонтальных машины непрерывного литья заготовок, приведенная на рисунке 15, обладает следующими преимуществами перед МНЛЗ других типов: не требуется довольно громоздкой системы вторичного охлаждения, что значительно упрощает конструкцию и снижает массу и габариты машины; улучшается качество слитка за счет уменьшения образования трещин от ферростатического давления; облегчается монтаж и обслуживание машины вследствие размещения оборудования на уровне пола цеха.

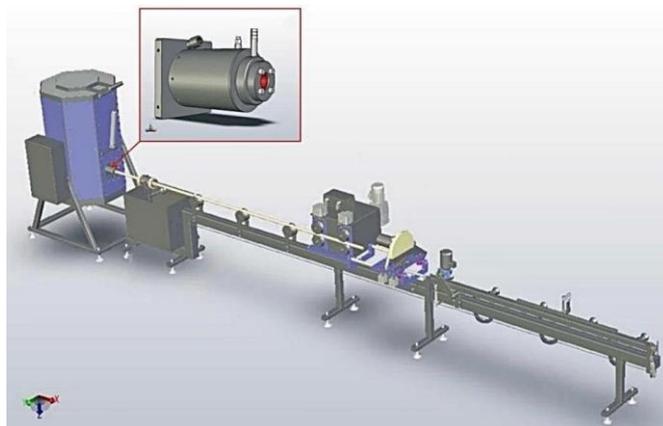


Рисунок 15 - модель горизонтальной МНЛЗ

Сталь из ковша поступает в футерованный металлоприемник, откуда через огнеупорный стакан (разделительное кольцо), изображенный на рисунке 16 подается в неподвижный водоохлаждаемый кристаллизатор.



Рисунок 16 - Конструкция прямоточного (слева) и глуходонного (справа) погружных стаканов

К материалу разделительного кольца предъявляют особо высокие требования, поскольку кроме высокой точности размеров эта деталь должна обладать высокой термической стойкостью, стойкостью к разрушениям, налипанию металла и включений, низким температурным коэффициентом линейного расширения и другими свойствами. Для изготовления разделительных колец используют дорогостоящие и дефицитные материалы. Кристаллизующая заготовка вытягивается в периодическом режиме. Специальный механизм перемещает слиток вперед на расстояние до 50 мм (вытягивание), затем возвращается назад в исходное положение (обратный ход). Во время обратного хода слиток остается неподвижным или немного осаживается назад. Частота циклов «вытягивание-обратный ход» достигает 200-300 цикл/мин. Периодическое вытягивание слитка заменяет качание кристаллизатора, применяющееся на машинах другого типа. На таких машинах применяется зона вторичного охлаждения «душирующего» типа.

Обычно верхние поддерживающие устройства в ней отсутствуют.

Характерной особенностью горизонтального непрерывного литья является отсутствие дефектов, связанных с раздутием заготовок под действием ферростатического давления. На заготовках и круглого, и квадратного сечений отсутствуют трещины в промежуточной зоне, что выгодно отличает их от слитков, получаемых на МНЛЗ других типов.

Первые горизонтальные МНЛЗ имели технологическую ось, расположенную строго горизонтально. Однако в процессе эксплуатации таких машин было установлено, что их технологическая ось должна иметь небольшой наклон (под

углом $7..12^\circ$ к горизонту) согласно рисунку 17. Это способствует улучшению условий удаления газов из кристаллизатора в начале разливки и улучшению процесса разливки.



Рисунок 17 – технологическая ось горизонтальной МНЛЗ

На горизонтальных МНЛЗ отливаются сортовые заготовки небольшого сечения толщиной менее 150 мм. Такие машины выгодно отличаются низкими капитальными и эксплуатационными затратами, возможностью расположения в действующих цехах и совмещения с прокатным станом. Однако они имеют невысокую производительность, значительными являются затраты на изготовление и эксплуатацию разделительных колец из дефицитных материалов. Отлитая заготовка имеет нарушения сплошности металла в своей верхней части из-за протекания усадочных процессов при кристаллизации стали, неравномерное расположение неметаллических включений и растворенных газов. Появляются дополнительные потери металла при механической зачистке отлитой заготовки.

Тенденции развития технологий непрерывной разливки стали

Таким образом, можно выделить общие тенденции развития процессов непрерывной разливки стали на слябовых МНЛЗ:

- 1) В предстоящие годы основное внимание будет уделяться проблемам качества заготовки, снижения издержек на разливку и т.п.,
- 2) Улучшение параметров течения металла в кристаллизаторе за счет использования погружных стаканов оптимальной геометрической формы и метода электромагнитного перемешивания,
- 3) Развитие функциональных возможностей промежуточного ковша: повышение его эксплуатационных показателей (стойкость) и доводка стали (рафинирование и регулирование температуры),
- 4) Повышение степени автоматизации работы МНЛЗ с включением в единую систему всех параметров жидкой стали, условий охлаждения стали в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения при наличии обратной связи.

Одним из направлений улучшения слябовых МНЛЗ является удовлетворение возрастающих требований к качеству продукции. Для этих целей на практике все чаще применяют усовершенствованные прямолинейные кристаллизаторы, которые

могут быть использованы и на уже работающих машинах после соответствующей реконструкции.

В целом же современные разработки в области конструкции кристаллизаторов сфокусированы на увеличении скорости разливки путем интенсификации режимов охлаждения и частоты качаний, оптимизации закона колебаний кристаллизатора; дальнейшем увеличении долговечности плит кристаллизатора с помощью новой техники нанесения покрытий.

К приоритетным направлениям совершенствования конструкции МНЛЗ относится применение гидравлического привода для обеспечения качания кристаллизатора. Гидравлическая система привода кристаллизатора обеспечивает следующие технологические и операционные преимущества:

- 1) оперативное варьирование амплитуды колебаний кристаллизатора,
- 2) изменение формы кривой колебаний (задание скоростей движения кристаллизатора на различных этапах),
- 3) предотвращение вибраций кристаллизатора, обычно сопровождающих работу,
- 4) значительное уменьшение общей массы движущихся в процессе качаний частей.

Дополнительным, но достаточно перспективным фактором, способствующим повышению качества поверхности сляба, может стать применение метода наложения на кристаллизатор горизонтальных колебаний, которые синхронизированы с

качаниями в вертикальной плоскости. По мнению различных исследователей, этот метод значительно уменьшает следы качания на поверхности сляба и соответственно число прорывов металла.

Таким образом, использование современной технологии непрерывной разливки стали требует жесткого соблюдения всех технологических режимов производства, высокой культуры труда и уровня подготовки обслуживающего персонала, и неотрывно связано с автоматизацией и компьютеризацией работы как отдельных узлов и механизмов, так и всей разливочной машины в целом. Сейчас с помощью МНЛЗ в Германии, Франции и Японии разливается более 75% выплавляемой стали.

Литература

1. Целиков А.И., Полухин П.И. др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Том 2. Машины и агрегаты сталеплавильных цехов / А.И. Целиков, П.И. Полухин.-М.: Металлургия, 1988. – 430с.
2. Столяров А.М., Селиванов В.Н. «Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок» / А.М. Столяров, В.Н.
3. Селиванов – М.:Инфра-Инженерия, 2020. – 190с.
4. Евтеев Д.П., Колыбалов И.Н. Непрерывное литье стали / Д.П. Евтеев, И.Н. Колыбалов.- М.: Металлургия, 1984. - 198с.
5. <https://vuzlit.com> - Непрерывная разливка стали
6. <https://ozlib.com> - Разливка стали и кристаллизация слитка. Часть II (дата обращения 14.11.2022)