

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние черной металлургии связано с ростом объема металлопродукции, с расширением марочного сортамента, с возрастающими требованиями к качеству продукции — и все это при возрастающей конкуренции как на отечественном, так и на зарубежном рынке. Количество произведенной стали в мире постоянно растет и достигло 1,691 млрд т: страны Азии — 1,1625 млрд т (Китай — 831,7 млн т). Европейский союз произвёл 168,7 млн т стали (Германия выплавила 43,6 млн т), в Северной Америке выплавлено 116 млн т (США — 81,6 млн т), производство стали в странах СНГ составило 102,1 млн т (Россия — 71,3 млн т). Следует отметить, что производство готового проката в Российской Федерации постоянно увеличивается и достаточно высокими темпами.

Потребительскую ценность металлургической продукции формируют по всей технологической цепочке. Все больше специалистов согласны с тем, что необходимо глубокое согласование работы смежных переделов, позволяющее более точно настроить технологию конкретного звена производства. Кроме того, важно учитывать опыт коллег-металлургов и знать, в чем суть технологических инноваций по изучаемой тематике.

В последние годы ХХ в. наметилась тенденция повышения качества и расширения размерного сортамента плоского горячекатаного проката. Это позволило эффективно применять его вместо холоднокатаного в различных отраслях промышленности.

Непрерывная разливка стали в настоящее время повсеместно вытесняет традиционную разливку в изложницы. Российские металлурги также добились существенных успехов как при разливке стали, так и в прокатном производстве.

Для металлургической промышленности появление машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) стало крупнейшим достижением, обеспечивающим необыкновенный прорыв в увеличении производительности труда, а также в экономии произведенного жидкого металла. Производство непрерывнолитых заготовок обеспечивает значительное снижение расходного коэффициента от выплавки стали до производства готового проката.

Непрерывная разливка стали позволила исключить из технологического процесса слябинги и блюминги, которые использовались для формирования геометрических размеров заготовки и последующей прокатки ее на листовых и сортовых станах.

По современным прогнозам перспективного развития металлургической промышленности, доля разливки стали на МНЛЗ в ближайшее время достигнет более 95%. В настоящее время разливка стали в излож-

ници осталась только на территории постсоветского пространства, где нет возможности в осуществлении инновационных проектов.

За последние годы производительность МНЛЗ возросла в среднем в 1,5–4,0 раза, в первую очередь за счет повышения надежности оборудования, а некоторые слябовые МНЛЗ позволяют разливать металл со скоростью 2,5 т/мин.

В условиях жесточайшей конкуренции на мировом рынке металло-продукции любые инновации в области непрерывной разливки будут немедленно внедряться и приносить прибыль. Первоочередной задачей развития МНЛЗ является получение качественного продукта, который бы обеспечивал современные требования машиностроителей, газовиков и нефтяников — ведущих заказчиков металла.

Потребительскую ценность металлургической продукции формируют по всей технологической цепочке — от выплавки металла до проката.

Несмотря на огромные достоинства МНЛЗ, следует отметить, что уже действуют металлургические предприятия, на которых металл разливают в тонкие слябы (50 мм и менее) с последующей горячей прокаткой. Таких предприятий уже более 40, из них 62 МНЛЗ и 65 ручьев, в том числе CPS (Compact Production) — 25 МНЛЗ; ISP (Inline Strip Production) — 3 МНЛЗ; Sumitomo — 3 МНЛЗ и FTSC (Flexible Thin Slab Casting) — 11 МНЛЗ. Годовое производство тонкого сляба достигло более 80 млн т в год [1].

Переход на литье тонкого сляба позволяет сократить продолжительность затвердевания металла в 5–10 раз. Но самым прогрессивным способом непрерывной разливки является отливка литой полосы толщиной 1,5–6,0 мм. Этот способ реализуют при литье стали между двумя врачающимися в противоположную сторону валками. Подобные установки работают в Японии, Италии, Франции, Южной Корее, Австралии. Ширина заливаемой полосы колеблется от 800 до 1350 мм, а толщина — 2–6 мм. Скорость разливки — от 10 до 80 м/мин. В основном разливают коррозионностойкие или углеродистые стали (Австралия). Качество отлитой полосы близко к качеству горячекатаного металла.

Перспективно выглядит горизонтальная разливка листа, реализованная компанией SMS Siemag AG, позволяющая лить заготовки, максимально приближенные по геометрической форме к готовой продукции.

Главным вопросом при непрерывной разливке, конечно, является вопрос обеспечения качества получаемой заготовки. Появление новых механизмов качания (гидравлических) кристаллизаторов, разработка современных шлакообразующих смесей для промежуточных ковшей и кристаллизаторов, электромагнитное перемешивание металла в процессе разливки и мягкое обжатие заготовки являются залогом обеспечения качества готовой продукции.

Глава 1

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

1.1. Краткая история развития непрерывного литья

Первые идеи по непрерывной разливке металла принадлежали Q. E. Ellers (патент 1840 г.), Y. Laining (1843), H. Bessemer (1846) и R. M. Dealen (1877). Придать колебательное движение кристаллизатору предложил З. Юнганс (1933), и это существенным образом продвинуло развитие непрерывного литья заготовок. Полупромышленные установки начали появляться после окончания Второй мировой войны [2, 3]. В 1936 г. в Германии В. Рот создал установку и технологию непрерывного литья алюминия. В 1940 г. Проперци предложил ряд установок для литья между валками большого диаметра (ротором, колесом) и бесконечной тонкой лентой, которые и сейчас находят применение в основном для литья заготовок малых сечений [4].

Первые опытные вертикальные машины были пущены в Великобритании, США и Германии. В Советском Союзе первая машина запущена в 1945 г. и была предназначена для отливки заготовок круглого и квадратного сечений (200×200 мм). В 1947 г. была запущена установка полунепрерывной разливки (ПН-1) (ЦНИИчермет им. И. П. Бардина). Через 12 лет ее воплотили в промышленных вертикальных установках непрерывной разливки стали в электросталеплавильном цехе Новолипецкого металлургического комбината. На них впервые в мире только непрерывным способом получали слябы толщиной 150–170 мм и шириной до 1020 мм широкого марочного состава, включая электротехнические. Уже через шесть лет там же был построен первый в мире кислородно-конвертерный цех со 160-тонными конвертерами и шестью двухручьевыми вертикальными слябовыми установками, на которых можно было отливать слябы сечением 175–315×900–1850 мм [5–7].

Огромный вклад в создание, разработку и внедрение процесса непрерывной разливки стали в металлургию России внес М. С. Бойченко, директор Института новых металлургических проблем, который входил в состав ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» (ЦНИИчермет).

С 1959 по 1966 г. в Советском Союзе строили установки непрерывной разливки, в том числе и для зарубежных партнеров. Проектирование всех установок выполняли сотрудники ЦНИИчермета.

С появлением МНЛЗ в металлургии началась новая эра производства стали, которая существенным образом изменила всю структуру процесса подготовки стали к разливке и прокатке, она продолжается и сейчас.

Наряду со слябовыми машинами появились сортовые, для передела мелкосортных заготовок на прокат, например строительного назначения. В мире и в СССР появились мини-заводы (г. Жлобин, Белоруссия, г. Рыбница, Молдавия, «Амурсталь»). Обычно поперечное сечение таких заготовок было 100×100 , 125×125 мм, а подвод металла в кристаллизатор осуществляли открытой струей. На стенки его подавали рапсовое масло, которое, сгорая, снижало содержание кислорода в атмосфере кристаллизатора ниже 2,0%. Скорость разливки на таких машинах достигла 3–5 м/мин.

В настоящее время ученые всего мира сосредоточились на изучении закономерностей кристаллизации, теплотехники непрерывнолитой заготовки, создании энергосберегающих технологий, создании МНЛЗ, производящих продукцию, близкую к конечным размерам, — тонкослябовые и валковые МНЛЗ. Важным моментом является создание и внедрение технологических схем на базе совмещенных процессов, трансформируемых в литейно-прокатные агрегаты (модульные технологии). Принципам таких технологий соответствует совмещение непрерывной разливки и прокатки [6]. При этом:

- из производственного цикла исключено промежуточное складирование, остывание, ремонт и последующий длительный нагрев заготовки перед прокаткой, т. е. сокращен цикл производства и расход всех видов ресурсов;

- качество литьей заготовки в 85% объема соответствует требованиям прямой прокатки; исключено снижение ее среднемассовой температуры перед прокаткой ниже 950°C;

- при прокатке обеспечивают применение режимов высоких обжатий;

- продукция тонкослябовых МНЛЗ соответствует стандарту ASTM 1012 при отсутствии осевой ликвации;

- достигают минимальной длительности цикла «сталь — прокат», минимизируют затраты всех видов ресурсов за счет синхронизации почажевой производительности всех агрегатов модуля с допуском превышения не более 15% у последующего передела;

- обеспечивают работу комплекса в режиме автоматического управления.

В СССР наибольший вклад в создание МНЛЗ внесли научные и проектные организации ЦНИИЧермет, Укрниимет, Южуралмаш, Уралмашзавод (в настоящее время Машиностроительная корпорация «Уралмаш»).

В развитие технологии непрерывной разливки стали в России, внедрение ее в производство внесли вклад ученые-технологи: **И. П. Бардин**,

С. М. Бойченко, В. С. Рутес, В. В. Фульмахт, Д. П. Евтеев, В. С. Правдин, Н. А. Николаев, В. Я. Генкин, В. Б. Ганкин, С. В. Зеленов, Г. К. Ламинцев, В. М. Кутырина, О. В. Гаврилов, А. Я. Либерман, В. М. Паршин, А. В. Куклев и др.

1.2. Основные типы машин непрерывного литья заготовок

Начало исследования горизонтального непрерывного литья металлов относят к первой половине XIX в., когда Я. Лэйнингу (США) был выдан патент на установку для получения свинцовых труб. Вероятно, он и был первым по непрерывному литью.

Первой горизонтальной машиной для разливки стали была установка по патенту И. Жаке (Бельгия), предназначенная для получения на шести ручьях заготовок сечением 100×100 и 150×150 мм.

Промышленное освоение этих машин начинали с разливки цветных металлов и чугуна, и к середине XX в. оно получило широкое распространение.

Первая горизонтальная машина непрерывной разливки стали в отечественной металлургии (машина М. Ф. Голдобина) имела два конвейера, наклоненных на 10° к горизонту и расположенных один над другим. В ней было предусмотрено совместное движение стенок кристаллизатора и формирующейся заготовки, т. е. отсутствие перемещения заготовки относительно стенок кристаллизатора. Стальные полуизложницы верхнего и нижнего конвейеров при смыкании образовывали полый канал — кристаллизатор с профилем, соответствующим сечению заготовки. Сталь заливали через промежуточное устройство с огнеупорным стаканом, входящим в канал кристаллизатора. Заготовка выходила из машины еще не полностью затвердевшей и поэтому охлаждалась водой. Размеры заготовки 120×120 и 140×140 мм. Во время войны установку демонтировали, а после 1946 г. по новому проекту (Стальпроект) восстановили, модернизировали, и она работала на Бежецком сталелитейном заводе.

В мире эксплуатируют более 40 машин горизонтального типа. Они имеют ряд преимуществ:

- мениск жидкого металла отведен от начала зоны затвердевания;
- расположение машин в действующих цехах комфортно и не требует высоты здания;
- нет необходимости сгибать заготовку;
- нет необходимости в шлакообразующих смесях (ШОС);
- простота совмещения с прокатным станом;

- металлостатический напор металла меньше, чем на вертикальных и радиальных машинах, т. е. нет большой нагрузки на опорные конструкции;
- легко обслуживать машину и производить замену узлов;
- масса всего оборудования для разливки в 1,5–3,0 раза меньше, чем на вертикальных и радиальных машинах (ферростатическое давление не- большое).

Однако имеются и недостатки:

- малая производительность;
- значительная усадочная раковина при остановке в конце разливки;
- наличие «стыка» — зоны контакта водоохлаждаемого медного кристаллизатора и огнеупорного материала;
- трудно ввести смазочный материал в зону трения;
- сложно осуществлять окончание процесса разливки. При прорыве оболочки слитка из промежуточного ковша может вытечь весь металл;
- наличие усадочной пористости, осевой ликвации.

За рубежом интенсивное развитие горизонтальный способ разливки стали получил благодаря фирмам Davy Loewy, General Motors, FTSC, так как появились разделительные кольца из нитрида кремния или нитрида бора, которые обеспечили надежное и качественное начальное формирование оболочки слитка.

Чтобы избавиться от периодического режима литья АО АХК «ВНИИМЕТМАШ им. А. И. Целикова» (ВНИИМЕТМАШ) разработал конструкцию и реализовал в металле горизонтальную МНЛЗ с двусторонним вытягиванием слитка (рис. 1.1) [4, 7–9].

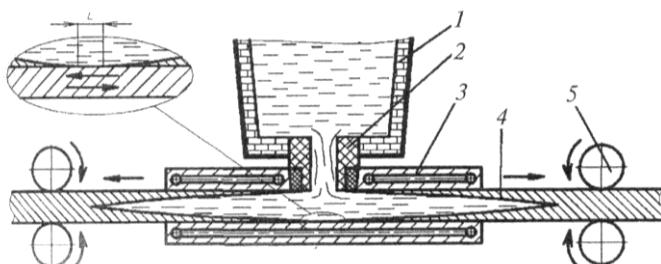


Рис. 1.1. Схема горизонтальной МНЛЗ

с двусторонним вытягиванием слитка:

- 1 — металлоприемник; 2 — металлопровод; 3 — кристаллизатор;
4 — слиток; 5 — тянувшая клеть.

Существенное отличие заключается в том, что в процессе одновременного непрерывного вытягивания двух слитков при возвратно-поступательном движении кристаллизатора между формирующими оболочками

всегда есть некоторое расстояние L , когда толщина корочки практически равна нулю, т. е. появляется возможность получить заготовку без спаев шагов, характерных для одностороннего способа разливки.

Первые опытные горизонтальные МНЛЗ для отливки круглых стальных слитков были созданы в УкрНИИМете в 1960 г., а для отливки квадратных и прямоугольных слитков — в 1965 г. [8, 9]. Во ВНИИМЕТМАШ создали горизонтальную машину, получившую название «Горизонт», ее эксплуатировали на заводах фирмы «Кавасаки сэйтцу» (Япония) при производстве слитков сечением 150×150 и 240×240 мм из коррозионно-стойких и углеродистых марок стали [9].

В СССР была принята программа строительства горизонтальных машин в цехах мартеновского производства. Первой такой машиной стала четырехручьевая МНЛЗ, изготовленная по проекту ВНИИМЕТМАШ и введенная в эксплуатацию в 1966 г. в сортопрокатном производстве Карагандинского металлургического комбината. На ней получали заготовки сечением 145×145 – 160×160 мм из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей для производства арматурных профилей [5, 7].

Стойкость гильз кристаллизаторов горизонтальной машины меньше, чем у радиального аналога, но практически полученный удельный расход меди (как изделия) на машине КарМК составил 0,12 кг/т, что не так уж и много. Для соединения металлоприемника с кристаллизатором применяли графитошамотные металлопроводы, стойкость которых составляла до 20 т на ручей. На ряде разливок были испытаны разделительные кольца из горячепрессованной керамики на основе нитрида бора. Стойкость колец позволяла использовать их на трех-четырех последовательных разливках, при этом масса разлитого металла достигала 62 т на ручей [7, 8].

Сейчас горизонтальные МНЛЗ предложено использовать в литейно-прокатных агрегатах для производства прутков, полос и катанки [6].

Интенсивное развитие современных МНЛЗ началось в 1960-е гг. в странах Западной Европы, СССР, Японии и США. В этот период можно было наблюдать существенный экономический рост промышленности, особенно в металлургии.

Сначала появились радиальные машины (1963 г. фирма Concast, Швейцария, в СССР такую машину спроектировал ВНИИМЕТМАШ, построена она была в 1965 г.). А затем были созданы криволинейные машины с прогрессирующим разгибом. Конструировали новые кристаллизаторы, создавали шлакообразующие смеси (ШОС), а также совершенствовали конструкцию зоны вторичного охлаждения (ЗВО).

В последние годы за рубежом и в России начали внедрять МНЛЗ криволинейного типа с прямолинейным кристаллизатором, в мире их эксплуатируют уже не менее 30% (Dilinger Huttenwerke, Германия, Sollac Fos

surMer, Франция, ПАО «Северсталь», г. Череповец, ПАО «ММК», г. Магнитогорск и др.).

Всего существует два способа непрерывной разливки в зависимости от вида применяемого кристаллизатора [4, 10, 11]:

- разливка в подвижный кристаллизатор, перемещающийся синхронно с затвердевающей заготовкой;

- разливка в неподвижный или качающийся кристаллизатор, из которого вытягивают затвердевающую заготовку.

Первый способ разливки, например, во вращающиеся валки в последние годы находит все более широкое применение при литье так называемых тонких полос и позволяет разливать металл со скоростью 50 м/мин и толщиной полосы 1,6–2,0 мм [4].

Второй способ разливки впервые был опробован в 1939 г. в Германии. В настоящее время основными изготовителями МНЛЗ за рубежом являются фирмы: SMS Demag, Danielli, Simens VAI, а в России ПАО «Уралмашзавод» (Уралмаш).

АСУ ТП для МНЛЗ делает НТЦ «Приводная техника» (г. Челябинск).

На восьми самых крупных металлургических предприятиях России: Магнитогорском, Нижнетагильском, Челябинском и Орско-Халиловском (Урал), Череповецком (Север), Новолипецком (Центрально-Черноземный район), Западно-Сибирском и Кузнецком (Западная Сибирь), производят 90% всего чугуна, свыше 80% всей стали (в том числе вся конвертерная) и свыше 80% проката.

Первая машина центробежной разливки стали была введена в действие в 1969 г. на заводе фирмы «Валлорес» (Франция). Этот процесс применяют только для литья круглой заготовки. Разливку стали производят таким образом. Кристаллизатор наполняют струей металла, расположенной эксцентрично и наклонно по отношению к оси разливки и наклонно по отношению к вертикальной плоскости. Кристаллизатор вместе со своей опорой (весь ручей) совершают колебательные и вращательные движения. При затвердевании образующиеся кристаллы направлены в сторону стенки кристаллизатора и быстро образуют толстую корку хорошего качества. Неметаллические включения и шлак металл не поглощает, они плавают на поверхности и сдвигаются к центру, откуда их удаляют [11].

Преимущества непрерывной разливки:

- 1) высокая производительность (возможность разливать металл «плавка на плавку», т. е. сотни плавок подряд);

- 2) увеличение выхода годного до 20% по сравнению с разливкой в слитки (нет головной и донной обрези);

- 3) улучшение качества металла (быстрое затвердевание, разливка со шлаком в кристаллизаторе и промежуточном ковше, в который асимилируются неметаллические включения);

4) снижение капитальных затрат на строительство (исключены цехи изложниц и подготовки составов, технологические процессы подготовки к прокатке, а также собственно прокатные цехи блюминги и слябинги и др.);

5) обеспечение высокого уровня механизации и автоматизации процесса разливки;

6) снижение сырьевых и энергетических затрат в прокатном переделе (сокращение технологической цепочки производства проката, ритмичное снабжение станов заготовкой и т. д.);

7) существенное улучшение условий труда разливщиков.

Недостатки непрерывной разливки:

1) необходимость защищать металл от вторичного окисления;

2) невозможно разливать стали с повышенным содержанием кислорода (кипящие);

3) недостаточная надежность механизмов МНЛЗ;

4) образование дефектов как на поверхности, так и внутри заготовки.

Известно большое количество разнообразных конструкций МНЛЗ, но реально на практике применяются основные типы машин (рис. 1.2–1.6) [2, 4].

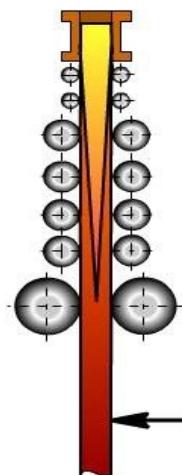


Рис. 1.2. Машина вертикального типа

МНЛЗ вертикального типа (рис. 1.2) имеет подвижный кристаллизатор (100–300 колебаний в минуту). На выходе получают качественный слиток. Есть возможность полунепрерывного литья [58]. Отливают слябы длиной 6–10 м. После полной кристаллизации сляб в холодном состоянии

режут на мерные заготовки для сортов или листа. Обеспечен осмотр и удаление дефектов поверхности.

Возможная толщина заготовки до 350 мм, ширина — 2100 мм. На выходе из кристаллизатора толщина корочки 25 мм.

Достоинства МНЛЗ вертикального типа: можно разливать марки сталей, склонных к трещинообразованию, так как отсутствуют зоны загиба и разгиба сляба с жидкой сердцевиной; формируется качественный толстый сляб; получают симметричную структуру слитка; проста в настройке оборудования.

Недостатки МНЛЗ вертикального типа: большая общая высота МНЛЗ (30–40 м); высокое давление жидкого металла на корку слитка; сложность коммуникационного обеспечения; низкая производительность; для выдачи слитка приходится применять мощные механизмы; большие затраты на сооружение (высокое здание или глубокий колодец).

С целью уменьшить высоту и стоимость МНЛЗ были созданы вертикальные установки с изгибом слитка после затвердевания. Эти машины чаще применяют для литья слябов (рис. 1.3).

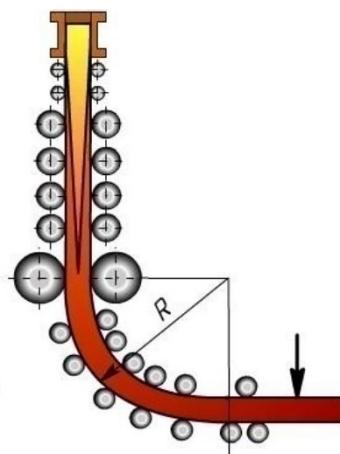


Рис. 1.3. Машина криволинейная с изгибом

Так как литье непрерывное, то получают качественный слиток. Кристаллизатор и зона вторичного охлаждения (ЗВО) прямые. Общая высота ее достигает 25 м. Имеется ограничение по толщине сляба с учетом минимально допустимого радиуса изгиба. С увеличением толщины сляба необходимо увеличивать радиус изгибающего ролика.

Достоинства криволинейной машины с изгибом: получают симметричную структуру слитка; настройка верхней части машины проще, чем

радиальных агрегатов; наибольшее применение криволинейные машины получили при разливке слябовой заготовки.

Недостатки криволинейной машины с изгибом: высота МНЛЗ большая, хотя и меньше, чем у вертикальной МНЛЗ; быстрое увеличение толщины корочки жидкого металла с удалением от мениска.

Для снижения высоты создали машину криволинейную с изгибом слитка в процессе его затвердевания (рис. 1.4).

Достоинства МНЛЗ с изгибом слитка: структура слитка симметричная у краев сечения; давление жидкого металла нарастает менее интенсивно, чем у МНЛЗ (рис. 1.4); уменьшаются затраты на строительство здания (высота меньше); кристаллизатор в этой машине прямой или с переменным радиусом; разгиб производят в зоне ЗВО.

Недостатки МНЛЗ с изгибом слитка: изгиб слитка с жидкой фазой может привести к развитию в нем трещин; изгиб требует усиления опор в зоне вторичного охлаждения; после остановки машины удаление слитка весьма затруднено; необходим постоянный осмотр поверхности и удаление дефектов; затруднена разливка сталей, склонных к красноломкости, и некоторых легированных, имеющих малую величину допустимых деформаций при изгибе.

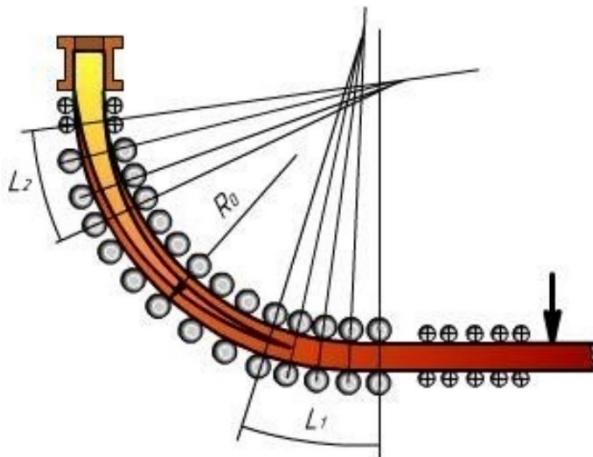


Рис. 1.4. Машина криволинейная с изгибом слитка в процессе его затвердевания

Меньше по высоте, не считая горизонтальной, МНЛЗ радиальная (частный случай криволинейной) (рис. 1.5).

Достоинства радиальной МНЛЗ: малая высота, меньшее давление жидкого металла с удалением от мениска; меньшие затраты на строительство.

Недостатки радиальной МНЛЗ: нет симметричности структуры слитка; изгиб слитка осуществляют с жидкой фазой, что для некоторых марок стали недопустимо (стали, склонные к красноломкости, и некоторые легированные, имеющие малую величину допустимых деформаций при изгибе и разгибе); сложно настраивать оборудование; необходимо усиливать конструкции зоны вторичного охлаждения; сложно осуществлять согласование приводных роликов тянуще-правильных агрегатов; кристаллизатор изогнут по заданному радиусу; имеются специальные разгибочные ролики.

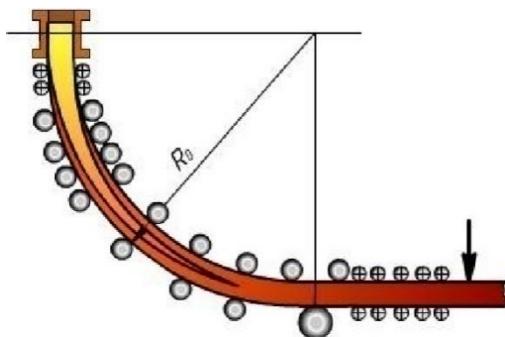


Рис. 1.5. Машина радиальная
(частный случай криволинейной)

Достоинства и недостатки горизонтальных машин непрерывного литья (рис. 1.6) были рассмотрены выше. На них разливают заготовки сечением от 20 до 360 мм. Производительность около 200 тыс. т/год. Машины идеальны для мини- заводов, очень компактные. Вытягивание слитка периодическое с остановками.

С целью снижения высоты МНЛЗ была разработана машина с подвижными стенками кристаллизатора, в которой технологическая ось выполнена в виде винтовой линии (рис. 1.7) [12].

Достоинства винтовой МНЛЗ: небольшая высота; существенное снижение в корочке формирующегося слитка растягивающих напряжений; возможность осуществления разливки ферросплавов.

Недостатки винтовой МНЛЗ: невозможность получения крупных заготовок; малая прочность затвердевшей корочки; сложность ремонта.

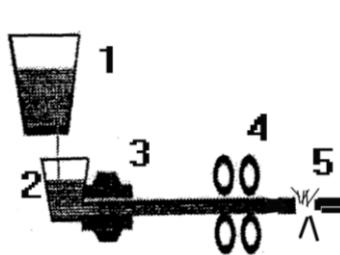


Рис. 1.6. Машина горизонтальная:

1 — стальковш; 2 — металлоприемник; 3 — кристаллизатор;
4 — механизм перемещения заготовки; 5 — агрегат резки заготовки.

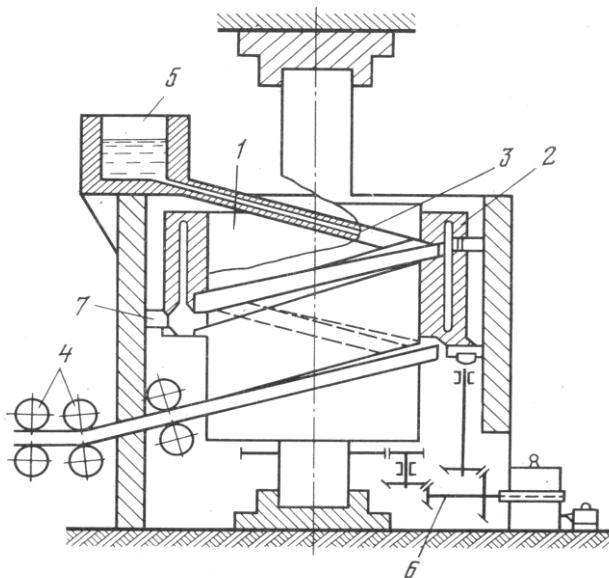


Рис. 1.7. Принципиальная схема устройства
винтовой машины непрерывного литья:

1 — гладкий кристаллизатор; 2 — гильза; 3 — калибр-желоб;
4 — правильно-тянущее устройство; 5 — узел подвода металла;
6 — механизм возвратно-поступательного движения;
7 — винтовые направляющие.

В 1990-е гг. появились комбинированные МНЛЗ, на которых появилась возможность отливки заготовок для производства листов и полос

(слябов), балок, рельсов и крупносортных профилей (блумов) для прокатки среднего и мелкого сортового проката (квадратного и круглого сечения), что позволило снизить капитальные затраты, потребности в площадях и обслуживающем персонале. Эксплуатация этих машин подтвердила и высокое качество отливаемых на них заготовок. Начиная с 1995 г. в мире введено свыше десяти новых комбинированных МНЛЗ [11–13].

1.3. Разливка стали на слябы

Около 60% отливаемых непрерывным литьем заготовок разливают на слябовых МНЛЗ. Получают слябы толщиной от 20–50 (тонкослябовые) до 250–400 мм и шириной от 400–500 до 2700–3000 мм. Общая схема литья: сталеразливочный ковш (стальковш) — промежуточный ковш (ПК) — кристаллизатор. Желательно иметь быстро заменяемый ПК.

Сравнительный анализ, проведенный Международным институтом чугуна и стали, выявил основную причину, по которой линейная скорость разливки ограничена. Для слябовых машин это качество внутренней структуры сляба и общая длина установки. Например, в Японии слябовые машины длиннее (до 48 м), чем в Европе, и скорость разливки там выше.

Чтобы увеличить линейную скорость разливки, необходимо [13, 14]:

- точное регулирование перегрева металла, что может потребовать подогрева его в промежуточном ковше;
- обеспечить влияние на первичную кристаллизацию совершенствованием смазки в кристаллизаторе (новые ШОС), оптимизированный режим качания кристаллизатора;
- повышение эффективности затвердевания в кристаллизаторе;
- полностью автоматизированная работа, даже в условиях нестабильной и аварийной эксплуатации.

Для получения «классического» сляба необходимы конструктивные изменения [15]:

- безоговорочное предпочтение отдают МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором, что обеспечивает повышение качества заготовки при одновременном росте производительности в 1,4–1,5 раза;
- применяют криволинейную схему технологической линии МНЛЗ с многоточечным загибом и разгибом;
- предусматривают возможность изменения ширины заготовки в процессе разливки;
- увеличивают вместимость ПК до 40–50 т и используют систему перегородок и порогов для улучшения течения металла;
- обязателен непрерывный замер температуры металла в ПК и в отдельных зонах движения заготовки;

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru