

Изобретение относится к металлургии, а именно, к непрерывному литью стали и может быть использовано при литье цветных металлов и других кристаллических материалов.

Известны машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [1], в которых кристаллизатор и расположенные за ним устройства охлаждения, вытягивания и порезки слитка на мерные заготовки, расположены вертикально.

Недостатком таких МНЛЗ является необходимость строить высокие прочные башни при их надземном расположении или глубокие колодцы при подземном и невозможность соединения их с прокатными станами в единый литейно-прокатный комплекс.

Известны также криволинейные МНЛЗ [2]. В таких МНЛЗ кристаллизатор и находящиеся за ним устройства охлаждения, вытягивания и порезки слитка на заготовки расположены по дуге, которая начинается вертикальным, а заканчивается горизонтальным участком.

Недостатком этих МНЛЗ является сложность оборудования и необходимость в процессе разливки разгибать слиток.

Наиболее близкой к предлагаемой является МНЛЗ горизонтального типа, содержащая металлоприемник и соединенный с ним водоохлаждаемый кристаллизатор и установленные за ними устройства охлаждения, вытягивания и порезки слитка на мерные заготовки [3], которые расположены на горизонтальной прямой.

Недостатком горизонтальной МНЛЗ является наличие металлоприемника. В месте соединения металлоприемника с кристаллизатором происходит так называемое "зависание" формирующейся оболочки слитка и ее последующее разрушение, приводящее к вытеканию стали. Для предотвращения этого между полостью металлоприемника и кристаллизатора устанавливают специальные переходные втулки и другие устройства.

Из-за наличия металлоприемника в кристаллизаторе устанавливается повышенное ферростатическое давление и вследствие этого повышенная сила трения и высокие растягивающие напряжения в формирующейся оболочке слитка, что ограничивает скорость вытягивания слитка из кристаллизатора и производительность МНЛЗ.

Другой причиной малой производительности МНЛЗ является малая производительность кристаллизатора, в котором отбирается от расплавленной стали менее 10% теплоты затвердевания.

Недостатком горизонтальной МНЛЗ является также горизонтальное расположение кристаллизатора и слитка, следствием чего является плохое питание осевой зоны слитка, ее рыхлость и асимметричность структуры [4].

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования МНЛЗ, в котором путем использования в качестве металлоприемника дополнительного водо-охлаждаемого кристаллизатора (ДВК), снабженного перемешивающим устройством, обеспечивается ускоренный отбор от расплавленной стали большей части теплоты затвердевания, с последующим объемным затвердеванием, снижение силы трения и величины растягивающих напряжений в слитке при его вытягивании из основного водо-охлаждаемого кристаллизатора (ДВК), и за счет этого достигается высокое качество поверхности и макрооднородность слитка, повышение механических, технологических и эксплуатационных свойств стали и производительности МНЛЗ.

Поставленная задача решается тем, что в МНЛЗ, содержащей металлоприемник и соединенный с ним водо-охлаждаемый кристаллизатор и установленные за ними устройства охлаждения, вытягивания и порезки слитка на мерные заготовки, согласно изобретению, в качестве металлоприемника использован дополнительный водо-охлаждаемый кристаллизатор с герметичной крышкой и перемешивающим устройством, который установлен перед основным и соединен с ним в своей нижней части, причем кристаллизаторы соединены между собой непосредственно через внутренние полости, а по периметру наружной стороны внутренней полости основного кристаллизатора выполнена теплоизолирующая огнеупорная прокладка, выступающая над внутренней поверхностью дополнительного кристаллизатора на 2-4 см, при этом в своей верхней части дополнительный кристаллизатор содержит трубопроводы для подвода вакуума и защитного газа.

МНЛЗ снабжена ДВК, чтобы до начала формирования слитка отобрать от расплавленной стали большую часть теплоты затвердевания и тем самым значительно ускорить процесс его формирования в ОВК.

ДВК снабжен перемешивающим устройством, которое, во-первых, ускоряет отбор теплоты от расплавленной стали, поскольку известно [5], что при перемешивании время затвердевания уменьшается в несколько раз; во-вторых, обеспечивает получение однородной смеси (суспензии) затвердевших кристаллов и жидкости;

в-третьих, обеспечивает жидкотекучесть стали, у которой отобрана значительная часть теплоты затвердевания, поскольку известно, [6], что, чем интенсивнее проводится перемешивание, тем в большей степени твердожидкий сплав обладает свойствами жидкости.

ДВК герметично закрыт крышкой и в своей верхней части соединен с трубопроводами для подвода защитного газа и вакуума, чтобы создать над поверхностью жидкой стали атмосферу из защитного газа, например, аргона или азота, и предотвратить ухудшения качества стали вследствие ее окисления кислородом воздуха в процессе перемешивания.

ДВК установлен перед ОВК, так как в ДВК жидкая сталь превращается в суспензию, из которой в ОВК формируется слиток, происходит его затвердевание и последующее вытягивание.

ДВК соединен с ОВК в своей нижней части, поскольку здесь величина ферростатического давления максимальна, что обеспечивает максимальную скорость истечения суспензии из ДВК в ОВК.

Внутренние полости ДВК и ОВК соединены между собой непосредственно, поскольку при этом обеспечивается максимальное сечение канала (равное сечению внутренней полости ОВК) при переходе из ДВК в ОВК и максимальный расход при истечении суспензии из ДВК в ОВК. По наружной стороне периметра внутренней полости ОВК установлен теплоизолирующая огнеупорная прокладка, выступающая над внутренней поверхностью ДВК на 2-4 см, т.е. на толщину затвердевшего слоя стали, для того, чтобы у входа в полость ОВК сталь на поверхности этой прокладки, омываемой потоками суспензии и имеющей

температуру, равную температуре суспензии, не затвердевала и не ограничивая сечение канала из ДВК в ОВК. Попадая в ОВК, в котором отсутствует перемешивание, суспензия, содержащая более 50% твердой фазы, затвердевает одновременно во всем объеме. При этом исчезает ферростатическое давление, прижимающее оболочку слитка к поверхности кристаллизатора, и создаваемая им сила трения. В то же время усилие вытягивания распределяется на все затвердевшее сечение слитка. При разливе таких суспензий на горизонтальных МНЛЗ сила трения и усилие вытягивания определяются только весом слитка в кристаллизаторе. При этом растягивающие напряжения уменьшаются в 50-1000 раз по сравнению с напряжениями в слитке, формируемом из жидкой стали.

Вследствие этого исчезают факторы, лимитирующие скорость извлечения слитка из кристаллизатора и производительность МНЛЗ.

Поскольку слиток в ОВК получают из однородной суспензии при ее быстром и одновременном во всем объеме затвердевании, то он получается химически, физически и структурно однородным. Вследствие очень низких растягивающих напряжений обеспечивается высокое качество поверхности слитка. Полученные из таких слитков прокат и поковки обладают низким коэффициентом анизотропии и повышенными механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Таким образом, достигается ожидаемый технический результат, а именно: ускоренный отбор от расплавленной стали большей части теплоты затвердевания, ее последующее объемное затвердевание, снижение силы трения и величины растягивающихся напряжений в слитке при его вытягивании и за счет этого обеспечивается высокое качество поверхности и макрооднородность слитка, повышение механических, технологических и эксплуатационных свойств стали и производительности МНЛЗ.

На чертеже схематически показана заявляемая МНЛЗ.

В состав МНЛЗ входят стенд 1 для ковша 2 и перемешивающего устройства-пульсатора 3, ДВК 4, ОВК 5, вытягивающее устройство 6, водо-охлаждаемый рольганг 7, машина газовой резки (МГР) 8.

ДВК накрыт герметичной крышкой 9, в которой имеются отверстия для пульсатора 3 и разливочного стакана 10. Пульсатор 3 соединен с крышкой 9 с возможностью перемещения. Перед началом разлива в ОВК находится временное подвижное дно-затравка 11. По периметру наружной стороны внутренней полости ОВК выполнена теплоизоляционная огнеупорная прокладка 12. Разливочный канал перекрыт шиберным затвором 13. К крышке ДВК подведены также трубопроводы для подвода вакуума 14 и защитного газа 15. Все соединения в ДВК выполнены герметичными.

Работает МНЛЗ следующим образом.

Перед подачей ковша 2 со сталью на стенд 1 трубопровод 14 открывают и соединяют полость ДВК с вакуумной системой. При этом из ДВК уходит воздух. После этого трубопровод 14 закрывают и открывают трубопровод 15. При этом ДВК заполняется защитным газом. После этого включают водяное охлаждение МНЛЗ. Ковш 2 устанавливают на стенд 1. При этом разливочный стакан 10 входит в отверстие в крышке 9 ДВК. Полностью открывают шиберный затвор 13 и сталь из ковша 2 поступает в ДВК 4. Когда сталь заполняет 25% объема ДВК опускают пульсатор 3 и начинают перемешивание. Шиберный затвор 13 прикрывают, уменьшая расход стали из ковша 2 с таким расчетом, чтобы к тому моменту, когда уровень металла в ДВК достигнет максимальной рабочей отметки, содержание твердой фазы в суспензии достигло заданного (например 60%).

В процесс охлаждения и перемешивания стали на внутренней поверхности ДВК и затравке 11 образуется корочка затвердевшей стали. На огнеупоре 12 вследствие его малой теплопроводности и перемешивания корочка не образуется, что облегчает затекание стали в ОВК.

Количество твердой фазы в суспензии контролируют по температуре воды на входе и выходе из ДВК и ее расходу, а также по температуре перемешиваемой стали. При достижении заданного содержания твердой фазы в суспензии включают вытягивающую машину 6, которая начинает вытягивать затравку 11, а расход стали из ковша 2 согласуют со скоростью вытягивания слитка. Вытягивание осуществляют циклически: вытягивание, обратный ход, пауза, вытягивание и т.д. Шаг вытягивания большой – до 500 мм, шаг обратного хода 1-5 мм. Продолжительность шага вытягивания до 2 с, шага обратного хода до 0,5 с. Продолжительность паузы устанавливается в зависимости от конкретных условий. Во время шага вытягивания затравка 11 вместе с образовавшейся на ее торце корочкой вытягивается в ОВК. Вместе с ней из ДВК 4 в ОВК 5 поступает порция суспензии. При контакте суспензии с поверхностью ОВК происходит мгновенное полное затвердевание поверхностного слоя формирующегося слитка и его охлаждение, которое продолжается во время обратного хода и паузы. Поверхностный слой слитка приобретает прочность и пластичность.

Во время обратного хода прекращается затекание суспензии внутрь ОВК и ее перемешивание. Происходит ее уплотнение, а также срастание твердых частичек между собой, с оболочкой слитка и с корочкой стали на затравке, которое продолжается во время паузы. За это время суспензия по всему сечению слитка приобретает свойства твердого тела и во время следующего шага вытягивания перемещается, как одно целое, увлекая за собой из ДВК следующую порцию суспензий. Цикл повторяется. Из ОВК слиток выходит с полностью затвердевшей оболочкой и сердцевинкой в виде сросшихся с оболочкой и между собой кристалликов, промежутки между которыми заполнены остатками жидкой фазы.

После выхода затравки 11 из вытягивающего устройства 6 ее отделяют от слитка и убирают. Через несколько минут остатки жидкой фазы затвердевают полностью. К этому времени слиток по рольгангу 7 поступает на машину газовой резки 8, где его разрезают на мерные куски.

Пример. Суточная производительность цеха составляет 9000 т углеродистой стали. Эту сталь необходимо разлить в блюмы сечением $a \times b = 400 \times 560$ мм. Определим технические характеристики и количество МНЛЗ, обеспечивающих эту производительность при использовании МНЛЗ предложенной конструкции и криволинейной МНЛЗ.

Технические данные МНЛЗ, работающей по предложенному способу.

Величину поверхности теплообмена ДВК определим из выражения

$$S = \frac{Na (C \Delta t + q_k)}{q_n \tau},$$

где N - суточная производительность цеха по жидкому металлу, $9 \cdot 10^6$ кг;
 α - доля твердой фазы в суспензии, 0,6 (60%), получаемой в ДВК;
 Δt - изменение температуры стали от температуры стали в ковше до температуры солидуса, 60°C ;
C - средняя удельная теплоемкость стали в этом интервале температур, $670 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$;
 q_k - скрытая теплота затвердевания стали, $280 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$;
 q_n - плотность теплового потока через поверхность теплообмена, 10^6 Вт/м^2 [2, рис. 83];
 τ - длительность суток, 86400 с.

При указанных значениях параметров величина поверхности теплообмена составляет 20 м^2 . При ДВК с внутренними размерами: основание $2,25 \times 1,8 \text{ м}$, высота $2,5 \text{ м}$, -поверхность теплообмена, равная 20 м^2 , обеспечивается при высоте налива металла $1,8 \text{ м}$, и поддерживается постоянной при работе МНЛЗ. Масса стали в ДВК, соответствующая этой высоте налива, равна 51 т .

При использовании МНЛЗ предложенной конструкции скорость извлечения слитка из ОВК составит

$$V = \frac{N}{\tau \gamma b a} = \frac{9 \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot 7000 \cdot 0,4 \cdot 0,56} =$$

$$= 3,98 \text{ м/мин}$$

где τ - продолжительность суток, мин;
 γ - плотность жидкой стали, кг/м^3 ;
b, a - параметры сечения слитка, м.

Скорость извлечения слитков этого сечения из кристаллизатора криволинейной МНЛЗ фирмы "Юнайтед инжиниринг стилз" в Ротереме (Англия) составляет [7] $0,55 \text{ м/мин}$, что в $7,25$ раз меньше чем на предлагаемой МНЛЗ.

Для обеспечения заданной производительности цеха нужна одна МНЛЗ предлагаемой конструкции или восемь криволинейных МНЛЗ. Металлургическая длина криволинейной МНЛЗ составляет

$$L_m = \left(\frac{a}{2k} \right)^2 \cdot v = \left(\frac{44}{2 \cdot 25} \right)^2 \cdot 0,55 =$$

$$= 32,5 \text{ м},$$

где a - толщина бляуа, мм;
k - коэффициент затвердевания.

Общая длина восьми МНЛЗ составит $281,6 \text{ м}$.

Длина предложенной МНЛЗ не зависит от скорости извлечения слитка и может быть принята на основании конструктивных соображений, равной 40 м , что в 7 раз меньше длины всех криволинейных МНЛЗ, обеспечивающих выполнение производственной программы.

Разливку стали в бляуы сечением $400 \times 560 \text{ мм}$ на МНЛЗ предложенной конструкции осуществляют в соответствии с описанной выше последовательностью операций.

Создают в ДВК защитную атмосферу и включают водяное охлаждение. Затем сталь заливают из ковша в ДВК, где ее охлаждают и с помощью пульсатора перемешивают. При достижении заданного содержания твердой фазы в суспензии, например, 60% включают вытягивающую машину и с помощью затравки вытягивают слиток, который затем разрезают на мерные заготовки. Полученные заготовки макрооднородны во всем объеме, так как получены из однородной суспензии при очень быстром объемном затвердевании.

Прокат и поковки из однородной стали обладают повышенными механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Таким образом, предложенная МНЛЗ по сравнению с прототипом обеспечивает следующие преимущества:

1. Многократное повышение производительности и сокращение длины МНЛЗ.
2. Получение макрооднородных заготовок, прокат и поковки из которых обладают повышенными механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

