

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **21763**

(13) **С1**

(46) **2018.04.30**

(51) МПК

В 22D 11/00 (2006.01)

(54) **СПОСОБ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА МАШИНЕ НЕПРЕРЫВНОГО
ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК**

(21) Номер заявки: а 20150086

(22) 2015.02.10

(43) 2016.10.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Кабишов Сергей Михайлович; Ратников Павел Энгелевич; Трусова Ирина Александровна; Менделев Дмитрий Владимирович; Румянцева Галина Анатольевна; Хлебцевич Всеволод Алексеевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) RU 2022699 C1, 1994.

BY 6037 C1, 2004.

RU 2197358 C2, 2003.

SU 1253716 A1, 1986.

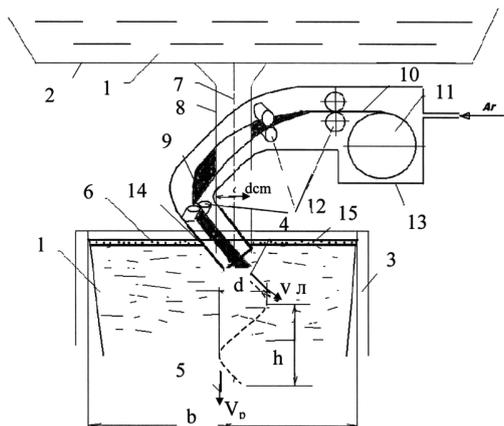
SU 1811973 A1, 1993.

US 4367784 A, 1983.

(57)

1. Способ разлива стали на машине непрерывного литья заготовок, в котором разливают с заданной скоростью расплав стали из промежуточного ковша в вертикально ориентированный кристаллизатор, одновременно вводя под уровень зеркала расплава в кристаллизаторе твердотельный холодильник, охлаждают расплав и вытягивают образующуюся заготовку из кристаллизатора, **отличающийся** тем, что в качестве указанного холодильника используют холодильник из стали, идентичной разливаемой по химическому составу, движущийся в потоке инертного газа и образующий в расплаве по мере введения в него спираль, концентрически охватывающую ось разливочной струи металла, совпадающую с осью разливочного стакана.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве указанного холодильника используют холодильник фасонного профиля в виде ленты или прутка с аморфизированной, или аморфной, или мелкодисперсной структурой.



ВУ 21763 С1 2018.04.30

3. Способ по п. 2, **отличающийся** тем, что холодильник вводят в расплав с заданной скоростью $v_{л}$, связанной со скоростью разливки расплава v_p посредством соотношения:

$$v_p = \frac{v_{л} \cdot h}{\sqrt{h^2 + (\pi d)^2}}$$

где h - выраженный в метрах шаг указанной спирали;

d - выраженный в метрах диаметр указанной спирали.

4. Способ по любому из пп. 1-3, **отличающийся** тем, что диаметр d указанной спирали удовлетворяет условию

$$2d_{ст} < d < 0,75b,$$

где $d_{ст}$ - наружный диаметр разливочного стакана;

b - меньший размер сечения либо диаметр разливаемой заготовки в случае ее прямоугольного и круглого сечения соответственно.

Изобретение относится к металлургии, к непрерывной разливке стали, преимущественно кордовой стали, конструкционной стали, с применением машины непрерывного литья заготовок.

Известен способ непрерывной разливки стали, включающий подачу расплава в кристаллизатор для первичного охлаждения, вертикальную вытяжку непрерывно литой заготовки из кристаллизатора в зону вторичного принудительного водяного охлаждения при избыточном давлении 0,2 МПа, охлаждение на воздухе с последующей газорезкой на мерные части [1].

Способ обладает высокой производительностью, однако, в связи с тем что технология не учитывает величину максимальных термических напряжений в непрерывнолитой заготовке на выходе из кристаллизатора, на выходе из зоны водяного охлаждения и в полностью затвердевшем слитке, в последнем наблюдается развитие макро- и микропороков в зоне жидкой лунки расплава в виде "моста" дендритов, дающих усадку с образованием пор, пустот, что требует дополнительной механической обработки заготовки.

Известен способ изготовления стали путем непрерывной разливки расплава в кристаллизатор, включающий охлаждение отливки в кристаллизаторе, вытяжку непрерывнолитой заготовки с принудительным водяным охлаждением, правку слитка с охлаждением на воздухе, с последующим газовым разделением на мерные слитки [2].

Способ позволяет получать кордовую сталь с начальной скоростью разливки 0,5-0,55 м/мин и конечной скоростью разливки 0,58-0,6 м/мин.

Однако известный способ допускает при высоких скоростях 0,8-0,9 м/мин разливки прорыв жидкого металла, образование внутренних дефектов в виде горячих трещин и рыхлостей из-за неравномерного охлаждения поверхности непрерывнолитой заготовки вдоль ее периметра.

В случае преобладания дендритной (столбчатой) кристаллизации для непрерывнолитых заготовок становится весьма вероятным возникновение "моста" дендритов, которые блокируют процесс подпитки усадочных зон, что, в свою очередь, приводит к осевой сегрегации и возникновению осевых усадочных раковин.

Ближайшим техническим решением, принятым в качестве прототипа, является способ непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья заготовок, в котором с заданной скоростью разливают расплав стали из промежуточного ковша в вертикально ориентированный кристаллизатор, одновременно вводя под уровень зеркала расплава в кристаллизатор твердотельный холодильник, охлаждают расплав и вытягивают образующуюся заготовку из кристаллизатора. При этом после разливки расплава металла из промежуточного ковша в вертикально ориентированный кристаллизатор в жидкий металл, находящийся в кристаллизаторе, вводят охлаждаемые холодильники, на наружной поверхности которых образуются микрохолодильники, формирующиеся непосредственно в жидком металле [3].

Недостаток известного способа проявляется в нестабильности процесса образования микрохолодильников как во времени, так и в их количестве. Это не позволяет существенно сократить время снятия теплоты перегрева расплава и, следовательно, не приводит к улучшению качества макроструктуры непрерывнолитой заготовки. Недостаток проявляется также в необходимости использования сложного оборудования холодильника с водяной системой охлаждения и принудительной вибрацией. При этом поверхность водяного холодильника в процессе работы будет подвергаться агрессивному воздействию шлакообразующей смеси. Кроме того, вибрация холодильника не исключает возможности разрушения холодильника с последующей аварией, так как вода из системы охлаждения может попасть в расплав металла.

В основу изобретения поставлена задача повышения качества непрерывнолитой заготовки за счет сокращения времени снятия теплоты перегрева расплава и тем самым уменьшения толщины зоны столбчатых кристаллов и обеспечения увеличения доли глобулярных - равноосных кристаллов в структуре непрерывнолитой заготовки, подавления процессов ликвации и снижения баллов по осевой пористости.

Поставленная задача достигается тем, что в способе разливки стали на машине непрерывного литья заготовок, в котором с заданной скоростью разливают расплав стали из промежуточного ковша в вертикально ориентированный кристаллизатор, одновременно вводя под уровень зеркала расплава в кристаллизатор твердотельный холодильник, охлаждают расплав и вытягивают образующуюся заготовку из кристаллизатора, согласно изобретению, в качестве указанного холодильника используют холодильник из стали, идентичной разливаемой по химическому составу, движущийся в потоке инертного газа, и образующий в расплаве, по мере введения в него, спираль, концентрически охватывающую ось разливочной струи металла, совпадающую с осью разливочного стакана.

В способе в качестве указанного холодильника используют холодильник фасонного профиля в виде ленты или прутка с аморфизированной, или с аморфной, или с мелкокристаллической структурой.

В способе холодильник вводят в расплав заданной скоростью $v_{л}$, связанной со скоростью разливки расплава $v_{р}$ посредством соотношения:

$$v_{р} = \frac{v_{л} \cdot h}{\sqrt{h^2 + (\pi d)^2}},$$

где h - выраженный в метрах шаг указанной спирали;

d - выраженный в метрах диаметр указанной спирали.

В способе диаметр d указанной спирали удовлетворяет условию:

$$2d_{ст} < d < 0,75b,$$

где $d_{ст}$ - наружный диаметр разливочного стакана;

b - меньший размер сечения либо диаметр разливаемой заготовки в случае ее прямоугольного и круглого сечения соответственно;

d - диаметр спиральной траектории.

Технический результат изобретения характеризуется введением в кристаллизатор механического средства снятия теплоты перегрева расплава в виде металлического холодильника, что сопровождается уменьшением толщины зоны столбчатых кристаллов.

Совокупность существенных признаков изобретения обладает новизной, неочевидностью и промышленной применимостью, следовательно, отвечает критерию "изобретательский уровень".

Для лучшего понимания изобретение поясняют фигурой, где представлена технологическая схема непрерывной разливки стали с изменением динамики снятия теплоты перегрева расплава при изготовлении непрерывнолитой заготовки.

Способ осуществляли на примере непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья заготовок типа МНЛЗ-3 БМЗ с вертикальным кристаллизатором.

Способ разливки стали на машине непрерывного литья заготовок включает разливку расплава 1 металла из промежуточного ковша 2 в вертикально ориентированный кристаллизатор 3, введение в кристаллизатор 3 холодильника 4, охлаждение расплава 1 и вытяжку из кристаллизатора 3 непрерывнолитой заготовки 5. Разливку расплава 1 металла из промежуточного ковша 2 в вертикально ориентированный кристаллизатор 3 совмещают с введением металлического холодильника 4 под уровень зеркала 6 расплава 1 в потоке инертного газа, например аргона Ar, в кристаллизаторе 3. Металлический холодильник 4 выполнен из материала, идентичного химическому составу разливаемого расплава 1. Металлический холодильник 4 в расплав 1 металла вводят коаксиально - концентрично оси 7 разливочной струи расплава 1 металла, совпадающей с осью разливочного стакана 8, по спиральной траектории 9.

В способе непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья в расплав 1 металла вводят металлический холодильник 4 фасонного профиля в виде металлической ленты 10 или прутка с аморфизированной, или с аморфной, или с мелкодисперсной структурой.

Металлическая лента 10 или прутки могут быть скомпактированы в бобину 11, смонтированную с трайб-аппаратом в виде системы тянущих и направляющих роликов 12 в герметичном корпусе 13, в который подают инертный газ аргон Ar.

Наконечник 14 корпуса 13 контактирует со шлаком 15 и расплавом 1 жидкого металла. Наконечник 14 изготавливают из керамики, стойкой к воздействию шлака 15 и расплава 1 металла. Наконечник 14 по аналогии с конструкцией разливочного стакана 8 может быть изготовлен из стабилизированного оксида циркония или других материалов. Наконечник 14 в процессе работы погружают под уровень расплава 1, чтобы избежать налипания и затягивания в слиток шлака 15.

Введение в кристаллизатор 3 механического холодильника 4 в качестве средства снятия теплоты перегрева расплава сопровождается уменьшением толщины зоны столбчатых кристаллов. Это позволит сократить время снятия теплоты перегрева расплава и тем самым уменьшить толщину зоны столбчатых кристаллов и обеспечить увеличение доли глобулярных - равноосных кристаллов в структуре непрерывнолитой заготовки, подавить процессы ликвации и снизить балл по осевой пористости.

Опытно-промышленным путем выявлено, что в способе непрерывной разливки стали оптимизация скорости разливки v_p расплава 1 из промежуточного ковша 2 и скорость v_l подачи металлического холодильника фасонного профиля в виде металлической ленты 10 по спиральной траектории 9 связаны следующим уравнением:

$$v_p = \frac{v_l \cdot h}{\sqrt{h^2 + (\pi d)^2}},$$

где v_p - скорость разливки;

v_l - скорость подачи ленты 10;

h - шаг спирали, м;

d - диаметр спирали, м.

В способе непрерывной разливки стали диаметр d спиральной траектории 9 должен удовлетворять условию:

$$2d_{ст} < d < 0,75b,$$

где d - диаметр спиральной траектории;

$d_{ст}$ - наружный диаметр разливочного стакана 8;

b - меньший размер сечения разливаемой непрерывнолитой заготовки 5 для бьюма прямоугольного сечения либо диаметр разливаемой непрерывнолитой заготовки 5 круглого сечения.

BY 21763 C1 2018.04.30

При разливке слябовых непрерывнолитых заготовок 5 возможна подача нескольких металлических лент 10 в один кристаллизатор 3 в зависимости от ширины сляба. При этом расстояние между осями спиралей ленты должно быть равно около 1,5d.

Кинетика формирования непрерывнолитой заготовки 5 характеризуется высокими скоростями охлаждения затвердевающего металла и наличием разнородных физических явлений - зарождения и роста кристаллов различной модификации, перемещения кристаллов в жидком ядре - незатвердевшей части непрерывнолитой заготовки 5 при формировании кристаллической структуры, конвективного движения расплава и др. Для разработки рациональных режимов охлаждения непрерывнолитых заготовок 5 в кристаллизаторе 3 необходимо учитывать характер кристаллической структуры литой заготовки - столбчатой или глобулярной.

Новая технология непрерывной разливки стали обеспечивает улучшение качества макроструктуры слитка непрерывнолитой заготовки при разливке качественных и легированных марок стали. За счет увеличения скорости кристаллизации расплава увеличится скорость разливки и производительность МНЛЗ. Это особенно актуально для легированных сталей, имеющих широкий интервал кристаллизации и сложный химический состав, включающий элементы, склонные к ликвации.

Механический холодильник фасонного профиля в виде металлической ленты с аморфизированной, или с аморфной, или с мелкодисперсной структурой может быть получен любым из известных способов: разливкой на литейно-прокатном комплексе, прокаткой. Химический состав стали не позволяет получить высокую степень аморфизации, но, так как структура металлической ленты-холодильника будет мелкодисперсная, обеспечится получение мелкозернистой структуры зерна разливаемой заготовки. Лента, подаваемая в потоке аргона, не вносит в расплав окислов и загрязнений, кислород и азот, а аргон будет обеспечивать дополнительное рафинирование расплава от газовых и неметаллических включений.

Возникновение глобулярной кристаллической структуры в жидком ядре непрерывнолитых заготовок способствует образованию более однородной структуры в отношении распределения основных легирующих компонентов стального сплава и примесей, оксидов и сульфидных включений.

На основании новой технологии предложены рабочие режимы разливки для кордовой стали марок 70K, 75K, 80K, 85K и сталей 40X, 45, которые позволяют увеличить скорость непрерывного литья до $v = 0,8-1,0$ м/мин для заготовок $0,250 \times 0,300$ м; $v = 0,75-0,8$ м/мин для заготовок $0,300 \times 0,400$ м без прорывов жидкого металла и образования внутренних дефектов в виде горячих трещин и рыхлостей, по сравнению с известной при скорости разливки $0,58-0,6$ м/мин.

Разработанные режимы разливки различных марок сталей прошли опытное опробование в условиях МНЛЗ-3 БМЗ.

Источники информации:

1. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.А., Трусова И.А., Филиппов В.В. Стальной слиток. - Т. 2. - Минск: Белорусская наука, 2000. - С. 367-371.
2. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.А., Трусова И.А., Филиппов В.В. Стальной слиток. - Т. 2. - Минск: Белорусская наука, 2000. - С. 383, 405, рис. 4-12, рис. 4-23.
3. Прототип: <http://ru-patent.info/20/20-24/2022699.html>. МПК В 22D 11/00.