

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13812

(13) С1

(46) 2010.12.30

(51) МПК (2009)

В 22D 11/11

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

(21) Номер заявки: а 20061045

(22) 2006.10.25

(43) 2008.06.30

(71) Заявители: Республиканское унитарное предприятие "Белорусский металлургический завод"; Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Тимошпольский Владимир Исаакович; Андрианов Николай Викторович; Маточкин Виктор Аркадьевич; Пишикин Вадим Серафимович; Трусова Ирина Александровна; Кабишов Сергей Михайлович; Мандель Николай Львович; Хлебцевич Всеволод Алексеевич (ВУ)

(73) Патентообладатели: Республиканское унитарное предприятие "Белорусский металлургический завод"; Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ЕР 006887 В1, 2004.

МАТОЧКИН В.А. и др. // Литье и металлургия. - 2003. - № 1. - С. 37-40.

СТЕПАНОВ А.А. и др. // Металлург. - 2005. - № 6. - С. 42.

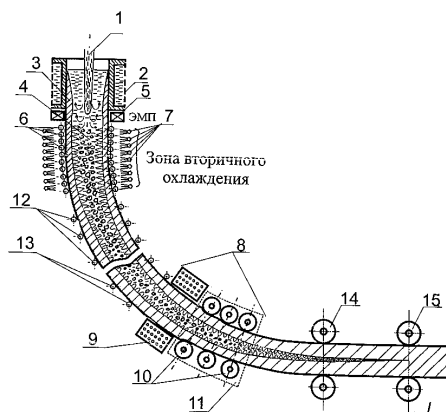
RU 2245214 С2, 2005.

RU 2283203 С2, 2006.

RU 2269395 С1, 2006.

(57)

Способ непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья заготовок, включающий охлаждение непрерывно-литой заготовки в кристаллизаторе, ее радиальную вытяжку с принудительным вторичным водяным охлаждением, скоростной нагрев поверхностных слоев заготовки в процессе радиальной вытяжки и правку слитка с охлаждением на воздухе, **отличающийся** тем, что в процессе радиальной вытяжки после скоростного нагрева осуществляют термомеханическое мягкое обжатие с величиной деформации до 1,6 %, при этом скоростной нагрев и мягкое обжатие осуществляют в зоне, в которой доля закристаллизовавшегося металла составляет 40-45 %.



ВУ 13812 С1 2010.12.30

# BY 13812 C1 2010.12.30

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

Известен способ непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья заготовок, включающий охлаждение отливки в кристаллизаторе, радиальную вытяжку непрерывно-литой заготовки с принудительным вторичным водяным охлаждением, правку слитка с охлаждением на воздухе.

Машина непрерывной разливки стали (МНРС) криволинейного типа содержит сталеразливочный ковш, промежуточный ковш, кристаллизатор, систему форсунок зоны вторичного охлаждения, тянущие ролики, гибочную валковую клетку для вытяжки криволинейной части дуги непрерывно-литой заготовки, автоматический резак и рольганг [1].

Известная технология обладает высокой производительностью, однако в связи с тем, что технологический процесс, реализуемый способом и машиной, не всегда учитывает величину максимальных термических напряжений в непрерывно-литой 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 бьюма.

Максимальный положительный результат можно получить при обжати заготовки, в которой доля твердой фазы в осевой зоне составляет более 50 %. При этом подавление осевой ликвации достигается за счет выдавливания жидкого металла в более высокие горизонты [2].

Ближайшим техническим решением, принятым в качестве прототипа, является способ непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья заготовок-МНЛЗ, включающий охлаждение отливки в кристаллизаторе, радиальную вытяжку непрерывно-литой заготовки с принудительным вторичным водяным охлаждением, скоростной нагрев поверхностных слоев заготовки, правку слитка с охлаждением на воздухе. МНЛЗ радиального типа включает кристаллизатор, средство для электромагнитного воздействия на металлический расплав, систему форсунок зоны вторичного охлаждения, гибочную валковую клетку, валковую клетку для вытяжки радиальной части дуги непрерывно-литой заготовки, средство скоростного индукционного нагрева, систему тянущих устройств-трайбаппаратов и средство правки литой заготовки с охлаждением на воздухе с последующим газовым разделением на мерные слитки [3].

Технология обладает высокой производительностью, однако в связи с тем, что технологический процесс, реализуемый машиной, допускает при высоких скоростях 0,65-0,9 м/мин разливки прорыв жидкого металла, образование внутренних дефектов в виде горячих трещин и рыхлостей из-за неравномерного охлаждения поверхности непрерывно-литой заготовки вдоль ее периметра.

Охлажденная поверхность заготовки перед зоной выпрямления увеличивает усилие разгиба и мощность привода устройства выпрямления заготовки, а высокий уровень термических и механических напряжений в затвердевшей корочке приводит в зоне разгиба непрерывно-литой заготовки к возникновению наружных трещин и раковин.

Кроме того, в случае преобладания дендритной (столбчатой) кристаллизации для непрерывно-литых 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.

В основу изобретения поставлена задача повышения качества непрерывно-литой заготовки стали путем снижения уровня термических и механических напряжений, возникающих в затвердевшей корочке металла, пористости и пустот за счет уменьшения протяженности зоны столбчатых кристаллов, дающих усадку с образованием пор, пустот

## ВУ 13812 С1 2010.12.30

и, соответственно, увеличения протяженности зоны глобулярных кристаллов в зоне жидкой лунки металла, при смыкании фронтов кристаллизации.

Поставленная задача достигается тем, что в способе непрерывной разливки стали на машине непрерывного литья заготовок, включающем охлаждение непрерывно-литой заготовки в кристаллизаторе, ее радиальную вытяжку с принудительным вторичным водяным охлаждением, скоростной нагрев поверхностных слоев заготовки в процессе радиальной вытяжки и правку слитка с охлаждением на воздухе, согласно изобретению, в процессе радиальной вытяжки после скоростного нагрева осуществляют термомеханическое мягкое обжатие с величиной деформации до 1,6 %, при этом скоростной нагрев и мягкое обжатие осуществляют в зоне, в которой доля кристаллизовавшегося металла составляет 40...45 %.

Технический результат термомеханического мягкого обжатия непрерывно-литой заготовки проявляется путем объединения в единой технологии скоростного нагрева, преимущественно индукционного, и мягкого обжатия с возможностью автономного воздействия вдоль разливочной дуги в зависимости от скорости разливки и марки стали.

Для лучшего понимания изобретение поясняется чертежом, где фигура - технологическая схема термомеханического мягкого обжатия непрерывно-литой заготовки на машине непрерывной разливки стали.

Способ поясняют на примере работы машины радиального типа непрерывной разливки заготовок из жидкой стали 1, которая включает сталеразливочный ковш (на чертеже условно не показан), кристаллизатор 2 с механизмом движения, в котором в отливке формируют твердую корочку оболочки 3 путем первичного охлаждения из расплава непрерывно-литой заготовки 4, средство 5 для электромагнитного воздействия-ЭМП на металлический расплав, систему тянущих роликов 6 с принудительным водяным охлаждением в зоне вторичного охлаждения-ЗВО плоскофакельными форсунками 7.

Машина снабжена средством 8 термомеханического мягкого обжатия непрерывно-литой заготовки 4.

Средство 8 термомеханического мягкого обжатия непрерывно-литой заготовки 4 может быть выполнено в виде объединенного в одном агрегате нагревателя 9 скоростного нагрева и валковой клетки 10 мягкого обжатия, смонтированных на общей приводной каретке 11, с возможностью перемещения вдоль разливочной дуги в зависимости от скорости разливки и марки стали.

Для обеспечения непрерывного литья заготовок 4 в машине предусматривают гибочную валковую клетку 12, валковую клетку 13 для вытяжки радиальной части дуги непрерывно-литой заготовки 4, систему трайбаппаратов - специальных роликовых приводных клеток 14, и средство 15 правки непрерывно-литой заготовки с охлаждением на воздухе.

Способ непрерывного литья стали осуществляют на примере непрерывной разливки кордовой стали на машине непрерывной разливки - литья заготовок типа МНЛЗ-3 БМЗ радиального типа.

Жидкую сталь 1 из разливочного ковша подают в промежуточную емкость, снабженную механизмом регулирования расхода металла в кристаллизатор 2 вертикальный прямолинейный с механизмом движения, в котором в отливке формируют твердую корочку оболочки 3, путем первичного охлаждения из расплава непрерывно-литой заготовки 4 с образованием на ее периферии твердой корки оболочки 3.

На выходе из кристаллизатора 2 посредством электромагнитного устройства 5 (ЭМП) производят магнитное перемешивание расплава стали 1 непрерывно-литой заготовки 4 и осуществляют с заданной скоростью радиальную вытяжку непрерывно-литой заготовки 4 посредством тянущих роликов 6 с принудительным водяным охлаждением плоскофакельными форсунками 7 в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) высотой в пределах до 3,0 м для формирования твердой оболочки толщиной до 45...50 мм при температуре 1100...1150 °С на поверхности слитка непрерывно-литой заготовки 4. В зоне вторичного охлаждения осуществляют постепенный радиальный изгиб непрерывно-литой заготовки 4 с радиусом

## ВУ 13812 С1 2010.12.30

кривизны до 10 м гибочной валковой клетью 12 и вытяжку радиальной части дуги непрерывно-литой заготовки 4 валковой клетью 13. Системой трайбаппаратов - специальных роликовых приводных клеток 14, непрерывно-литую заготовку 4 переводят в горизонтальное положение и правят средством 15 правки с охлаждением на воздухе на части длины L непрерывно-литой заготовки 4. За зоной правки непрерывный слиток разрезают на части равной длины.

В процессе вытяжки непрерывно-литой заготовки 4 производят термомеханическое мягкое обжатие твердой корки оболочки 3 в режиме: скоростной нагрев поверхностного слоя твердой корки оболочки 3, например, индукционным нагревателем 9 - деформация валковой клетью 10 мягкого обжатия поверхностных слоев твердой корки 3 непрерывно-литой заготовки 4. Скоростной нагрев поверхностного слоя твердой корки оболочки 3 можно осуществлять не только индукционным нагревателем 9, но и любым другим, например, инфракрасным нагревателем.

Термомеханическое мягкое обжатие непрерывно-литой заготовки осуществляют на участке непрерывно-литой заготовки 4, где доля закристаллизовавшегося металла находится в пределах 40...45 % при величине деформации до 1,6 %.

Опытным путем с помощью математического моделирования, в зависимости от марки стали, подбирают режимы скоростного нагрева твердой корки оболочки 3, например, индукционным нагревателем 9 и режимы мягкого обжатия твердой корки оболочки 3 путем ее деформации валковой клетью 10.

Новая технология непрерывного литья стали направлена на повышение качества литой стали путем воздействия термомеханического "мягкого" обжатия на твердую корку оболочки непрерывно-литой заготовки. В связи с тем, что перед валковой клетью "мягкого" обжатия установлен индуктор для подогрева углов и поверхности заготовки, существенно уменьшаются усилие обжатия и мощность привода, снижается уровень термических и механических напряжений, возникающих в затвердевшей корочке металла. Мягкое термомеханическое обжатие заготовки позволяет значительно уменьшить величину локальных деформаций и напряжений.

Термомеханическое воздействие на углы и охлажденную поверхность заготовки перед зоной выпрямления позволяет уменьшить усилие разгиба и мощность привода устройства выпрямления заготовки.

Применение технологии "мягкого" обжатия для динамического воздействия на внутренние объемы непрерывно-литой заготовки круглого сечения или в виде блюмов имеет свои особенности, связанные с геометрической формой заготовок. Прежде всего, большая жесткость затвердевшего каркаса блюма по сравнению со слябом приводит к существенному увеличению усилия обжатия. Помимо этого, приложение усилия обжатия по двум граням может вызвать выпучивание двух других граней, что нивелирует эффект подавления осевой ликвации. Исследованиями установлено, что эффективность "мягкого обжатия" во многом зависит от места приложения и величины давления на заготовку. Максимальный положительный результат можно получить при обжатии заготовки, в которой доля твердой фазы в осевой зоне составляет более 55 % без осуществления скоростного нагрева. При этом подавление осевой ликвации происходит недостаточно полно, хотя и достигается оно за счет выдавливания жидкого металла в более высокие горизонты. Подавление осевой ликвации тем эффективнее, чем раньше возможно его производить. При разливке круглой заготовки диаметром 350 мм оптимальным считается режим, когда в начале зоны обжатия доля закристаллизовавшегося металла находится в пределах 40...45 % при величине деформации 1,6 %. Уменьшение доли твердой фазы менее 40 % приводит к образованию внутренних трещин.

Обжимающий инструмент при мягком обжатии блюмов не полностью перекрывает контур заготовки, что обеспечивает боковой подпор охлажденного поверхностного слоя и уменьшение усилий обжатия. Целесообразно использовать технологию "мягкого обжатия"

## ВУ 13812 С1 2010.12.30

с помощью валков, длина бочки которых меньше или равна длине грани непрерывно-литой заготовки. Например, при разливке блюмов сечением 250x400 мм для этих целей рекомендовано применять валки длиной 250...300 мм.

В связи с тем, что проблема возникновения осевой ликвации и пористости особенно важна при разливке высокоуглеродистых и легированных марок сталей, технология "мягкого обжатия" актуальна для РУП "БМЗ".

На основании новой технологии предложены рабочие режимы разливки для кордовой стали марок 70К, 75К, 80К, 85К и сталей 40Х, 45, которые позволяют увеличить скорость непрерывного литья до  $v = 0,75-0,8$  м/мин для заготовок 0,250x0,300 м;  $v = 0,68-0,73$  м/мин для заготовок 0,300x0,400 м без прорывов корочки жидким металлом и образования внутренних дефектов в виде горячих трещин и рыхлостей по сравнению с известной технологией при скорости разливки 0,58-0,6м/мин.

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

Источники информации:

1. Лякишев Н.П. Энциклопедический словарь по металлургии. - Москва: Интермет Инжиниринг, 2000, Т. 1. - С. 287, фиг. б.
2. Смирнов А.Н. и др. Процессы непрерывной разливки. - Донецк, 2002. - С. 321-347.
3. ЕПВ 006887, МПК<sup>7</sup> В22D 11/00, публ. 28.04.2006, ВУ а20030391.