

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 034010

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.18

(21) Номер заявки
201990507

(22) Дата подачи заявки
2018.06.15

(51) Int. Cl. *B22D 11/00* (2006.01)
B22D 11/14 (2006.01)
B22D 11/18 (2006.01)

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

(31) 102017000067508

(32) 2017.06.16

(33) IT

(43) 2019.07.31

(86) PCT/IT2018/050107

(87) WO 2018/229808 2018.12.20

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ДАНЬЕЛИ ЭНД К. ОФФИЧИНЕ
МЕККАНИКЕ С.П.А. (IT)

(72) Изобретатель:
Андреатта Даньеле, Де Лука Андреа,
Энтесано Лука, Исера Массимилиано,
Флумиан Фабно (IT)

(74) Представитель:
Вашина Г.М. (RU)

(56) GB-A-2105229
EP-A1-2441540
US-A1-2004020632

(57) Способ непрерывного литья изделия (P) вдоль криволинейной литейной линии (18), снабженной кристаллизатором (11), который имеет трубчатую полость (12) полигонального поперечного сечения, заданную определенным количеством сторон (n). Изделие (P), выходящее из кристаллизатора (11), направляют по кривой вдоль литейной линии (18) удерживающими и изгибающими роликами (19) без помощи боковых секторов, удерживающих поперечное сечение изделия (P).

034010

B1

034010

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к способу непрерывного литья и соответствующему устройству. В частности, настоящее изобретение относится к способам и устройствам для непрерывного криволинейного литья металлических изделий.

Настоящее изобретение относится также к способу и устройству для литья заготовок или блюмов полигональной формы, например, квадратных, шестиугольных или восьмиугольных, хотя не исключаются заготовки с иным количеством сторон, например, пятиугольные, семиугольные и т.п.

Предшествующий уровень техники

В области техники непрерывного литья известно литье расплавленного металла в литейную форму, называемую также кристаллизатором, чтобы отвердить жидкий металл, по меньшей мере частично, и придать ему заданную форму. Примеры устройств непрерывного литья с криволинейными литейными линиями приведены в документах GB-A-2.105.229, US-A-2014/090792, DE-A-10.2006.005635, EP-A-2.441.540 и US -A-2004/020632.

На фиг. 1 и 2 изображено литейное устройство в соответствии с известным уровнем техники, в котором кристаллизатор 111 для литья заготовок или блюмов образован трубчатым корпусом 112 для охлаждения в нем жидкого металла М. Известно также, что трубчатый корпус 112 в толще своих стенок и, по меньшей мере частично, по его длине снабжен множеством каналов охлаждения, по которым течет охлаждающая жидкость, косвенно отводя теплоту от жидкой заготовки посредством теплообмена между ней и стенками, находящимися в контакте с охлаждающей жидкостью.

Охлаждение внутри кристаллизатора называют первичным охлаждением.

За счет теплообмена изделие Р начинает снаружи отвердевать, образуя наружную корку 113, толщина которой увеличивается по мере достижения изделием Р выхода из кристаллизатора 111. На образование толщины корки 113 влияет скорость литья и, следовательно, его производительность. Скорость литья определяет устойчивое состояние корки в кристаллизаторе 111.

Обычно в устройствах непрерывного литья такого типа необходимо поддерживать изделие Р на выходе из кристаллизатора 111 вследствие проблем, описанных ниже.

Наружные поверхности металлического изделия обычно поддерживаются вдоль литейной линии специальной системой роликовых проводков или подвижными удерживающими секторами 114, в основном параллельными поверхностям изделия Р, которые они должны поддерживать.

Как показано на фиг. 114, каждый удерживающий сектор 114 снабжен множеством роликов 116, расположенных таким образом, чтобы окружать боковой профиль отливаемого изделия Р, обеспечивая его удержание.

В то же время толщина корки 113 в процессе образования также должна повышаться за счет непосредственного охлаждения изделия Р, называемого вторичным охлаждением.

Вторичное охлаждение может осуществляться с помощью указанных подвижных секторов, снабженных внутренней системой охлаждения, или с помощью разбрызгивателей 115, используя обычную или небулизированную воду, сопровождая изделие Р до тех пор, пока полностью не отвердеет его внутренняя часть до так называемой точки касания К, в которой поперечное сечение литого изделия полностью отверждается.

Поэтому удерживающие секторы 114 образуют наружный каркас, который позволяет изделию Р спускаться вдоль литейной линии, охлаждаться и переходить из вертикального положения в горизонтальное, следуя по линии изгиба расчетного радиуса литья.

Более того, удерживающие секторы 114 сопровождают литое изделие Р до правильных механизмов, которые вытягивают литое изделие Р из литейного устройства.

Вдоль литейной линии, в зоне между удерживающими секторами 114 и правильными механизмами, обычно находятся поддерживающие и изгибающие ролики 118, служащие для поддержания и направления по кривой металлического изделия Р из вертикального положения в горизонтальное. Поддерживающие и изгибающие ролики 118 расположены на расстоянии друг от друга вдоль литейной линии и с чередованием попеременно один на внутренней вогнутой стороне, а следующий на верхней выпуклой стороне литейной линии.

Как было указано, подвижные удерживающие секторы 114 необходимы не только для охлаждения изделия Р, но также для поддержания поверхностей изделия. Корки, формирующие изделие Р, характеризуются довольно малой толщиной и подвержены явлению "выпучивания", т.е. эффекту разбухания, вызываемого ферростатическим давлением, которое направлено к наружной стороне жидкого изделия, раздувая стенки отверждаемой корки.

Обычно это явление ограничивается удерживающими секторами 114, которые удерживают его до незначительного разбухания и которые не позволяют нарушать литейные качества изделия Р.

Если допускается проявление эффекта разбухания, корка 113 может подвергнуться разрушению и образованию трещин в процессе формирования изделия Р. Эти трещины могут оставаться на поверхности изделия Р или могут определять полный разлом корки с последующей течью жидкого металла (прорыв металла). Кроме создания опасности, это очень осложняет техническое обслуживание и вызывает значительные экономические потери. Однако, даже при использовании подвижных удерживающих сек-

торов 114 процесс литья не лишен рисков.

Очень важно обеспечивать точное центрирование подвижных удерживающих секторов 114 относительно изделия Р как после кристаллизатора 111, так и вдоль остальной литейной линии, вплоть до его контакта с правильными механизмами.

Центрирование удерживающих секторов 114 должно соответствовать естественной усадке корки изделия Р, которая является следствием охлаждения. Если по некоторым причинам контакт между коркой и удерживающими секторами 114 происходит несоответствующим образом, появляются конкретные возможности сжатия или разрыва корки, что может приводить к прорывам металла.

В любом случае требуется довольно сложное техническое обслуживание удерживающих секторов 114, учитывая, что каждая поверхность изделия Р поддерживается удерживающим сектором 114 почти по всей литейной кривой. Более того, центрирование должно выполняться операторами вручную с наружной стороны литейной линии, поэтому требуется большой опыт сборки на рабочем месте, так как центрирование удерживающих секторов 114 часто нарушается на этом этапе работ.

Поэтому есть необходимость совершенствования способа литья, чтобы преодолеть по меньшей мере часть недостатков известного уровня техники.

Одной из целей настоящего изобретения является совершенствование способа непрерывного литья, чтобы он был эффективным и обеспечивал достижение высокой производительности.

Целью настоящего изобретения является также совершенствование способа непрерывного литья, чтобы он позволял ограничить необходимость обслуживания литейного устройства.

Еще одной целью настоящего изобретения является совершенствование способа непрерывного литья, чтобы он обеспечивал повышение качества литых изделий.

Заявитель разработал, испытал и осуществил настоящее изобретение, чтобы преодолеть недостатки известного уровня техники и обеспечить достижение этих и других целей и преимуществ.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение предлагается и характеризуется в независимых пунктах формулы, в то время как зависимые пункты формулы описывают другие признаки изобретения или варианты основных изобретательских замыслов.

В соответствии с указанными выше целями настоящее изобретение относится к способу непрерывного литья изделий, таких как заготовки или блюмы, в криволинейной литейной линии.

Способ обеспечивает литье жидкого металла в кристаллизаторе, который снабжен трубчатой полостью, имеющей полигональное поперечное сечение, определяемое определенным количеством сторон.

В соответствии с одним аспектом настоящего изобретения изделие, выходящее из кристаллизатора, направляется по кривой вдоль литейной линии удерживающими и изгибающими роликами без помощи боковых секторов, удерживающих поперечное сечение изделия после кристаллизатора.

Кроме того, способ включает установку производительности литейной линии, и, следовательно, скорости литья, выбираемой внутри заданной рабочей зоны и как функция количества сторон, обеспечивая кристаллизатор, имеющий определенное количество сторон, определяемое таким образом, чтобы достичь заданной производительности, чтобы изделие при выходе из кристаллизатора имело по меньшей мере минимальную толщину отвержденной корки и чтобы деформация корки ограничивалась уровнем ниже порогового значения.

Более конкретно, указанная рабочая зона определяется первой достигаемой максимальной производительностью и второй достигаемой максимальной производительностью, при этом первая достигаемая максимальная производительность определяется выражением:

$$P_{rmaxb} = 0,9 * \rho * K^2 * \left(\frac{n}{\tan\left(\frac{\pi}{n}\right)} \right)$$

где ρ - удельный вес твердого металла,

K - постоянная в диапазоне 0,04-0,05,

n - количество сторон указанной полигональной трубчатой полости (12),

a - указанная вторая достигаемая максимальная производительность (P_{rmaxt}) определяется выражением:

$$P_{rmaxt} = 0,9 * \rho * D^2 * \left(\frac{K_s}{t_{min}} \right)^2 * n * \tan\left(\frac{\pi}{n}\right)$$

где ρ - удельный вес твердого металла,

D - размер поперечного сечения указанного изделия (Р),

K_s - постоянная затвердевания, определяемая как функция материала указанного жидкого металла (М),

t_{min} - предварительно заданная минимальная толщина указанного изделия (Р),

n - количество сторон указанной полигональной трубчатой полости (12).

Кроме того, производительность устанавливается таким образом, чтобы она была меньше минимального значения или равна минимальному значению между первой максимальной производительностью

стью и второй максимальной производительностью.

Поэтому способ в соответствии с изобретением позволяет повышать производительность литейной линии, ограничивая расходы на обслуживание по сравнению с известными техническими решениями, избегая использования удерживающих секторов после кристаллизатора и, следовательно, исключая их обслуживание и контроль.

Это оказалось возможным благодаря тому, что на основе указанных выше настроек изделие при выходе из кристаллизатора имеет по меньшей мере минимальную толщину отвержденной корки, деформация которой ограничивается уровнем ниже порогового значения и не подвергается выпучиванию.

Для преодоления явления выпучивания вследствие ферростатического давления жидкости на стенки изделия необходимо, чтобы изделие обладало способностью самоподдерживаться, ограничивая эффект разбухания.

Это свойство непосредственно связано с производительностью устройства непрерывного литья:

для обеспечения производства изделия большими порциями необходимо продвижение на пониженных скоростях, чтобы дать время для формирования корки достаточной толщины, однако это ограничивает производительность;

наоборот, производство изделия малыми порциями позволяет повысить скорость литья, учитывая, что стороны, будучи более узкими и имеющими меньшую поверхность, имеют меньше шансов подвергаться разбуханию, однако, даже при быстром литье небольшими порциями производительность ограничивается.

Поэтому настоящее изобретение обеспечивает возможность определения максимальной производительности (скорости литья) устройства непрерывного литья таким образом, чтобы на выходе из кристаллизатора изделие имело значение выпучивания менее заданного предельного значения, а значение толщины корки было выше другого заданного предельного значения.

Далее, повышая производительность устройства, можно также уменьшать размеры литейных линий, необходимые для производства определенного количества продукции.

В частности, хотя и не исключительно, схема литья в соответствии с настоящим изобретением является оптимальной для микропредприятий, в которых имеется одна литейная линия, непосредственно снабжающая прокатный стан в замкнутом режиме.

Известно, что для микропредприятия необходимо обеспечивать высокую производительность, чтобы эффективно снабжать линию прокатного стана, установленную непосредственно за литейной линией.

Примеры осуществления настоящего изобретения также относятся к устройству непрерывного литья, включающему криволинейную литейную линию, снабженную кристаллизатором, который имеет трубчатую полость полигонального поперечного сечения, определяемую определенным количеством сторон. В соответствии с одним аспектом изобретения ролики для поддержания и направления изделия по кривой установлены вдоль указанной литейной линии, и отсутствуют секторы для бокового удержания поперечного сечения изделия.

Краткое описание чертежей

Эти и другие признаки настоящего изобретения будут понятны из нижеследующего описания некоторых иллюстративных вариантов осуществления изобретения, приведенных в качестве не ограничивающих примеров со ссылками на чертежи.

На фиг. 1 схематически изображено устройство непрерывного литья в соответствии с известным уровнем техники.

На фиг. 2 - вид в разрезе вдоль линии сечения II-II фиг. 1.

На фиг. 3 схематически изображено устройство непрерывного литья металлических изделий в соответствии с настоящим изобретением. На фиг. 4 изображен график, показывающий изменение максимальной производительности в зависимости от количества сторон литого изделия, оцениваемое относительно явления выпучивания.

На фиг. 5 изображен график, показывающий изменение максимальной производительности в зависимости от количества сторон литого изделия, оцениваемое таким образом, чтобы гарантировать твердую корку литого изделия на выходе из кристаллизатора.

На фиг. 6 изображен график, объединяющий графики фиг. 4 и 5 и определяющий рабочую зону для выбора производительности указанного литейного устройства.

В целях лучшего понимания используются одинаковые номера позиций, где это возможно, для обозначения идентичных общих элементов на чертежах. Разумеется, что элементы и признаки одного примера осуществления изобретения могут входить в другие примеры осуществления изобретения без дополнительных пояснений.

Подробное описание некоторых примеров осуществления изобретения

Примеры осуществления настоящего изобретения относятся к способу непрерывного литья изделия Р вдоль криволинейной литейной линии 18. Криволинейной литейной линией 18 объединены как устройство, разработанное вдоль всей криволинейной литейной линии, так и вертикальная литейная линия в начальном сегменте, направленная по кривой в последующем.

На фиг. 3 в соответствии с настоящим изобретением изображено устройство непрерывного литья во

всей его полноте под ссылочным номером 10, пригодное для литья металлического изделия Р, выбираемого из группы заготовок и блюмов.

Устройство 10 включает кристаллизатор 11 трубчатой формы, снабженный трубчатой полостью 12, в которую при использовании заливается жидкий металл М.

Кристаллизатор 11 обеспечивает отверждение жидкого металла М, генерируя отвержденную наружную корку 13.

Корка 13 имеет толщину "t", которая постепенно увеличивается в зоне отверждения внутри кристаллизатора 11 до достижения точки касания К, в которой изделие Р полностью отверждается, обычно за пределами кристаллизатора 11.

В соответствии с возможными примерами осуществления изобретения трубчатая полость 12 имеет полигональное поперечное сечение, заданное определенным количеством сторон "n". Исключительно в качестве примера поперечное сечение трубчатой полости 12 может иметь квадратную, шестиугольную, восьмиугольную или десятиугольную форму.

Однако не исключается, что поперечное сечение может иметь иное количество сторон, например, быть треугольным, пятиугольным или семиугольным.

Примеры осуществления настоящего изобретения могут предусматривать, чтобы трубчатая полость 12 определялась множеством стенок 14, образующих стороны кристаллизатора 11.

В некоторых примерах осуществления настоящего изобретения все стенки 14 кристаллизатора 11 имеют одинаковые размеры. Таким образом корка 13, которая формируется в процессе литья, имеет конфигурацию, в основном соответствующую форме литейной полости 12, и стороны корки 13, имеющие одинаковые размеры, подвержены одинаковым напряжениям, например, одинаковому ферростатическому давлению.

Однако не исключается, что в возможных примерах осуществления изобретения стенки 14 могут иметь различные размеры или ширины.

Кристаллизатор 11 имеет первый конец 15, через который заливается жидкий металл М, и противоположный первому концу 15 второй конец 16, через который частично отвержденное изделие Р выходит из кристаллизатора 11.

Кристаллизатор 11 снабжен средствами охлаждения 17, выполненными с возможностью охлаждать кристаллизатор 11, который прилагает охлаждающее воздействие на жидкий металл М, обеспечивая формирование корки 13.

После кристаллизатора 11 установлены поддерживающие и изгибающие ролики 19, выполненные с возможностью поддерживать и направлять по кривой изделие Р вдоль литейной линии 18.

В частности, предусмотрена возможность устанавливать поддерживающие и изгибающие ролики 19 на расстоянии друг от друга вдоль литейной линии, размещая их попеременно, с чередованием, один на внутренней вогнутой стороне, а следующий - на верхней выпуклой стороне литейной линии 18.

Поддерживающие и изгибающие ролики 19 могут быть расположены только на верхней выпуклой стороне или только на внутренней вогнутой стороне литейной линии 18.

В соответствии с возможными техническими решениями можно устанавливать поддерживающие и изгибающие ролики 19 непосредственно после выхода из кристаллизатора 11.

В соответствии с настоящим изобретением изделие, выходящее из кристаллизатора 11, непосредственно сопровождается и направляется по кривой вдоль литейной линии удерживающими и изгибающими роликами 19 без помощи боковых секторов, удерживающих поперечное сечение изделия.

Под боковыми секторами, удерживающими поперечное сечение, имеются в виду удерживающие элементы, расположенные лицевой поверхностью друг к другу, чтобы окружать по бокам поперечного сечения изделие Р.

В соответствии с другими техническими решениями после поддерживающих и изгибающих роликов литейное устройство 10 снабжено правильными и/или волочильными устройствами 20, выполненными с возможностью править изделие Р и/или, возможно, осуществлять его уплотнение.

Правильное и/или волочильное устройство 20 определяет скорость литья V_c изделия вдоль литейной линии 18.

С этой целью правильное и/или волочильное устройство 20 можно снабжать роликами 22, имеющими функции правки, уплотнения и/или волочения.

В соответствии с возможным примером осуществления настоящего изобретения изделие Р, выходящее из кристаллизатора 11, поддерживается и направляется, в том числе по кривой, только воздействием поддерживающих и изгибающих роликов 19, пока оно не войдет в правильное и/или волочильное устройство 20.

В соответствии с возможными техническими решениями поддерживающие и изгибающие ролики 19 снабжены устройствами охлаждения, такими как внутренние каналы охлаждения, чтобы охлаждать как сами поддерживающие и изгибающие ролики 19, так и корку 13 изделия Р.

В соответствии с некоторыми примерами осуществления настоящего изобретения устройство 10 может включать охлаждающие средства 21, такие как сопла, чтобы подавать небулизированную воду и далее охлаждать изделие Р.

Способ в соответствии с настоящим изобретением обеспечивает подачу жидкого металла М в кристаллизатор 11.

Изделие Р, выходящее из кристаллизатора 11, направляется по кривой вдоль литейной линии удерживающими и изгибающими роликами 19 без помощи боковых секторов, удерживающих поперечное сечение изделия Р.

В соответствии с одним аспектом настоящего изобретения до начала процесса литья способ включает установку производительности P_r литейной линии 18, которая выбирается в пределах предварительно определенной рабочей зоны и в функции количества сторон n трубчатой полости 12 или кристаллизатора 11.

Далее, способ предусматривает обеспечение кристаллизатора 11 с количеством сторон n , определяемым таким образом, чтобы обеспечить указанную заданную производительность P_r , чтобы изделие Р при выходе из кристаллизатора 11 имело по меньшей мере минимальную толщину $t_{\min}$ отвержденной корки 13, и чтобы деформация корки 13 ограничивалась значением менее порогового.

В соответствии с настоящим изобретением выбор кристаллизатора 11 позволяет предотвращать возникновение деформаций корки 13, вызывающих ее повреждение. В частности, деформации корки 13 должны быть такими, чтобы не переходить точки разрушения и протекания корки 13.

В процессе литья корка 13 изделия Р фактически подвержена явлению деформации или выпучивания.

Явление выпучивания вызывается ферростатическим давлением, которое передается жидким металлом М на корку 13 изделия Р и которое вызывает максимальную деформацию и прогибание корки 13.

Далее, в процессе литья необходимо гарантировать, чтобы изделие Р, выходящее из кристаллизатора 11, имело минимальную толщину корки 13 для выдерживания явления выпучивания.

В соответствии с возможными примерами осуществления изобретения, как будет описано ниже, рабочая зона ограничивается первой достигаемой максимальной производительностью $P_{\max b}$, определяемой таким образом, чтобы предотвращать деформацию корки 13 выше указанного порогового значения или подверженность явлению выпучивания, и второй достигаемой максимальной производительностью $P_{\max b}$, определяемой таким образом, чтобы корка 13 имела по меньшей мере минимальную толщину $t_{\min}$.

Чтобы предотвратить выпучивание, заявитель экспериментально определил соотношение между размерами стороны изделия Р и максимальной скоростью литья, которое может быть выражено уравнением:

$$V_{cmaxb} = (K/W)^{0.5}$$

где W является размером стороны [м];

V_{cmaxb} является максимальной скоростью литья [м/мин], выше которой происходит явление выпучивания, на уровне, который не выдерживает стенка изделия Р;

K является постоянной в диапазоне $0,04-0,05 \text{ (м}^3/\text{с)}^{0.5}$, предпочтительно в диапазоне $0,042-0,047 \text{ (м}^3/\text{с)}^{0.5}$.

Скорость литья в режиме V_c соответствует следующему неравенству:

$$V_c \leq (K/W)^{0.5}$$

Благодаря этой формуле можно определить оптимальный размер стороны каждого изделия для определения максимальной достигаемой скорости литья, избегая использования удержания и в то же время не допуская риска разрушительного выпучивания.

В такой ситуации, зная необходимую максимальную скорость литья и оптимальные размеры сторон для ограничения выпучивания, можно рассчитать границы производительности для изделий различных полигональных форм.

В литературе производительность литейной линии рассчитывается как массовая скорость потока, проходящего через кристаллизатор, что может иметь вид:

$$P_r = 3,6 * \rho * A * V_c$$

где P_r - почасовая производительность [т/ч],

ρ - удельный вес твердого металла, например, твердой стали, который включает эффект затвердевания [кг/м³],

A - поперечное сечение изделия Р [м²],

V_c - скорость литья [м/мин].

Аналогичным образом, используя максимальную скорость литья V_{cmaxb} вместо скорости литья V_c , для профилей каждой полигональной формы, определяется достигаемая максимальная производительность P_{rmaxb} , за пределами которой возникают проблемы разрушительного выпучивания.

$$P_{rmaxb} = 3,6 * \rho * A * V_{cmaxb}$$

Поперечное сечение изделия Р может рассчитываться следующим образом:

$$A = W^2 * f$$

где W - размер стороны [м],

f - условное число соотношения площадей.

Условное число соотношения площадей представляет собой соотношение между площадью много-

угольника и площадью квадрата, сторона которого имеет размер многоугольника.

Каждый правильный многоугольник имеет свое условное число соотношения площадей, которое обобщено ниже.

Правильный многоугольник	f
Треугольник	0,433
Квадрат	1
Пятиугольник	1,720
Шестиугольник	2,598
Семиугольник	3,634
Восьмиугольник	4,828
Девятиугольник	6,182
Десятиугольник	7,694

Однако, условное число соотношения площадей можно рассчитать тригонометрически в следующем виде:

$$f = \frac{n}{4 * \tan\left(\frac{\pi}{n}\right)}$$

где n является количеством сторон многоугольника.

В такой ситуации в приведенной выше формуле максимальной почасовой производительности P_{maxb} можно заменить члены формулы максимальной скорости литья $V_{\text{сmaxb}}$ и площади А изделия Р, и согласно другой приведенной выше формуле учесть предварительно выбранный показатель К:

$$P_{\text{maxb}} = 0,9 * \rho * K^2 * \left(\frac{n}{\tan\left(\frac{\pi}{n}\right)}\right)$$

Благодаря последней формуле можно для каждого возможного профиля изделия Р установить максимальную производительность, которую можно обеспечить без использования удерживающих секторов после кристаллизатора.

Чтобы избежать проблем деформации корки 13, производительность P_r литейной линии 18 должна быть меньше, или, самое большее, равна определенному выше значению P_{maxb} , т.е. должно быть получено $P_r \leq P_{\text{maxb}}$.

На фиг. 4 представлена максимальная производительность P_{maxb} Для изделий Р, имеющих количество сторон от минимум 4 до максимум 10, используя в качестве примера следующие данные:

Наименование	Символ	Значение	Единицы измерения
Удельный вес изделия Р	ρ	7750	кг/м ³
Максимальный коэффициент выпучивания	K	0,044	(м ³ /с) ^{0,5}

Используя приведенную выше формулу, получаем следующие производительности P_{maxb} :

Количество сторон изделия Р	Максимальный предел выпучивания
4	54,0
5	92,9
6	140,3
7	196,3
8	260,8
9	333,9
10	415,6

Анализируя фиг. 4, можно отметить, что зона, сопутствующая кривой максимальной производительности, представляет производственные возможности для каждого типа изделия Р, которые не требуют удержания после кристаллизатора.

Например, производительность P_r 140 т/ч можно обеспечить независимо от размера стороны W при полной мощности кристаллизатора 11 шестиугольной формы, или при средней мощности для восьмиугольной формы.

В преимущественных примерах осуществления изобретения форма многоугольника литейной по-

лости 12 выбирается квадратной, шестиугольной или восьмиугольной, т.е. многоугольника с количеством сторон четыре, шесть или восемь.

Имеется также другой физический предел производительности с учетом минимальной толщины $t_{\min}$ корки 13, выходящей из кристаллизатора 11, чтобы гарантировать самостоятельное поддержание изделия Р.

Так как корка 13 не поддерживается удерживающими секторами, она должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить выход изделия Р из кристаллизатора 11 как единого целого, продолжая движение вдоль литейной линии 18 и охлаждаясь, не проявляя податливости разрушительному явлению выпучивания или разлому.

Толщина t корки 13 изделия Р, выходящего из кристаллизатора 11, непосредственно связана со скоростью литья V_c ; через постоянную затвердевания K_s изделия Р более высокая скорость литья V_c определяет меньшую толщину корки 13 изделия Р и наоборот.

Поэтому толщина t корки 13 изделия Р, выходящего из кристаллизатора 11, должна быть больше минимальной безопасной толщины $t_{\min}$ или равна ей.

В известном уровне техники минимальная безопасная толщина $t_{\min}$ обычно может быть в пределах от 6 мм до 10 мм, настоящее изобретение предлагает предпочтительный диапазон от 7 мм до 9 мм, и более предпочтительно - около 8 мм.

Предел производительности P_r в связи с минимальной толщиной $t_{\min}$ на выходе из кристаллизатора 11 можно получить, начиная с известного из литературы уравнения для толщины, равной $t_{\min}$:

$$t \geq t_{\min} = \frac{K_s}{\sqrt{V_{cmax}}} \rightarrow V_{cmax} = \left(\frac{K_s}{t_{\min}} \right)^2$$

Как можно видеть, предел по показателю минимальной толщины $t_{\min}$ влечет за собой необходимость не превышать определенное значение скорости литья V_{cmax} .

Следовательно, ограничение скорости литья V_{cmax} предполагает ограничение максимальной достигаемой производительности P_{rmax} :

$$P_r \leq P_{rmax} = 3,6 * \rho * A * V_{cmax} = 3,6 * \rho * W^2 * f * \left(\frac{K_s}{t_{\min}} \right)^2$$

Сторона W многоугольника может быть выражена как функция диаметра D окружности, вписанной в многоугольник, который описывает сечение изделия Р, так как цели охлаждения кромок менее проблематичны, поскольку они охлаждаются быстрее.

В частности, известно, что

$$W = D * \tan(\pi/n)$$

Поэтому максимальная почасовая производительность в т/ч, достигаемая с пределом по показателю минимальной толщины, составляет:

$$P_{rmax} = 0,9 * \rho * D^2 * \left(\frac{K_s}{t_{\min}} \right)^2 * n * \tan\left(\frac{\pi}{n}\right)$$

В отличие от того, что достигается применительно к выпучиванию, максимальная производительность по показателю минимальной толщин, дополнительно к функции количества сторон n , зависит также от $t_{\min}$ и D .

Производительность P_r литейной линии, оцениваемая с учетом предельной толщины корки, должна быть меньше или равна P_{rmax} , рассчитанной выше, или $P_r \leq P_{rmax}$.

На фиг. 5 представлена максимальная производительность P_{rmax} для изделий Р, имеющих количество сторон от минимум 4 до максимум 10, используя в качестве примера следующие данные:

Наименование	Символ	Значение	Единицы измерения
Удельный вес изделия Р	ρ	7750	кг/м ³
Постоянная затвердевания	K_s	3,87E-03	м/с ^{0,5}
Вписанный диаметр	D	0,22	м
Минимальная толщина	$t_{\min}$	0,008	м

Используя эти данные в приведенной выше формуле, мы получаем предел производительности P_{rmax} для различных типов изделия Р:

Количество изделия Р	сторон	Предел минимальной толщины
4		316,49
5		287,43
6		274,09
7		266,72
8		262,19
9		259,18
10		257,09

В частности, кривая, описывающая максимальную производительность P_{maxt} , имеет асимптотическое разложение, будучи по существу функцией выражения $n \cdot \tan(\pi/n)$, которое для стремящегося к бесконечности n принимает постоянное значение π . Разложение означает, что за пределами определенного значения n максимальная производительность P_{maxt} может становиться постоянной, поэтому дальнейшее увеличение количества сторон n не ведет к какому-либо преимуществу.

В соответствии с одним аспектом настоящего изобретения литейная линия 18 может иметь производительность P_r больше или равную 60 т/ч.

Таким образом, из графика фиг. 5 понятно, что достигаемая максимальная производительность для литого изделия Р, имеющего D равный 220 мм и t_{min} равную 8 мм, составляет около 260 т/ч при n равном восьми (восьмиугольник), но при квадратном кристаллизаторе нельзя достичь более 54 т/ч вследствие максимального выпучивания. Кроме того, при количестве сторон за пределами десяти максимальная производительность стабилизируется на значении 257 т/ч. Поэтому, чтобы достичь максимальной производительностью около 260 т/ч, лучше всего использовать кристаллизатор с количеством сторон 8, так как использование кристаллизатора с количеством сторон 9 повлечет проблемы продвижения и поддержания изделия Р, а при использовании кристаллизатора с количеством сторон 10 или более не будет иметь какого-либо преимущества относительно производительности.

От объединения кривых, представленных на фиг. 4 и 5, которые иллюстрируют ограниченные производительности, соответственно одна на основе максимального допустимого выпучивания (P_{maxb}), а другая на основе минимальной толщины корки, необходимой для поддержания изделия Р на выходе из кристаллизатора (P_{maxt}), получен график на фиг. 6, демонстрирующий оптимальную рабочую зону, в которой разработчик может выбирать тип изделия Р и желательную производительность в пределах зоны, замыкаемой двумя кривыми.

Поэтому из анализа графика фиг. 6 видно, что для профилей от квадратного до восьмиугольного производительность ограничивается, в основном, явлением выпучивания, в то время как для профилей с количеством сторон более восьми предел определяется минимальной толщиной корки, которая должна быть гарантирована для изделия, выходящего из кристаллизатора.

Разработчик, желающий получать очень высокую производительность без помощи удержания, должен выбирать для литья по меньшей мере восьмиугольные сечения, а для более скромной производительности может делать выбор из более широкого диапазона сечений для литья.

В частности, данный способ предполагает, что производительность P_r , установленная в литейной линии и выбранная для конкретного количества сторон n кристаллизатора 11, является меньшей или равной относительно минимального значения между первой максимальной производительностью (P_{maxb}) и второй максимальной производительностью (P_{maxt}).

Далее, комбинируя указанные выше производительности P_{maxb} и P_{maxt} , можно определить оптимальное количество сторон, которое позволяет оптимизировать производительность литья.

В частности, если $P_{\text{maxb}} = P_{\text{maxt}}$, получаем

$$0,9 * \rho * K^2 * \left(\frac{n}{\tan\left(\frac{\pi}{n}\right)} \right) = 0,9 * \rho * D^2 * \left(\frac{K_s}{t_{\text{min}}} \right)^2 * n * \tan\left(\frac{\pi}{n}\right)$$

$$\frac{K^2}{\tan\left(\frac{\pi}{n}\right)} = D^2 * \left(\frac{K_s}{t_{\text{min}}} \right)^2 * \tan\left(\frac{\pi}{n}\right)$$

$$\left(\frac{K}{K_s} * \frac{t_{\text{min}}}{D} \right) = \tan\left(\frac{\pi}{n}\right)$$

и в конечном счете

$$n = \left(\frac{\pi}{\arctan\left(\frac{K}{K_s} * \frac{t_{\text{min}}}{D}\right)} \right)$$

Из этого делаем вывод, что ссылочное количество равно целому числу, аппроксимированному по общему правилу, из выражения в скобках. То есть:

$$n_{ott} = \text{int} \left(\frac{\pi}{\arctan \left(\frac{K}{K_s} * \frac{t_{min}}{D} \right)} \right)$$

Из этого выражения для оптимального количества сторон можно также на основе вышеприведенных выражений определить пределы скорости литья V_c литейной линии 18.

В частности, кристаллизатор 11 имеет количество сторон n менее оптимального количества сторон n_{ott} , это обеспечивает литье изделия Р со скоростью литья, выраженную отношением:

$$V_c \leq (K/W)^2$$

В то время как кристаллизатор 11 имеет количество сторон n больше оптимального количества сторон n_{ott} , это обеспечивает литье изделия Р со скоростью литья V_c , выраженной отношением:

$$V_c \leq \left(\frac{K_s}{t_{min}} \right)^2$$

Понятно, что можно выполнять частичные модификации и/или дополнения к описанным выше способу непрерывного литья и соответствующему устройству непрерывного литья в пределах области техники и объема настоящего изобретения.

Понятно также, что, хотя настоящее изобретение описано выше со ссылками на некоторые конкретные примеры, специалисты в данной области техники смогут достичь многих других эквивалентных форм способа непрерывного литья и устройств непрерывного литья, имеющих признаки, которые представлены в формуле настоящего изобретения и поэтому включены, в связи с этим, в область защиты.

В нижеследующей формуле настоящего изобретения единственной целью ссылок в скобках является облегчение чтения: они не должны считаться ограничивающими факторами относительно области защиты, заявленной в конкретных пунктах формулы.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ непрерывного литья изделия (Р), выбранного из заготовок или блюмов, в криволинейной литейной линии (18), обеспечивающий литье жидкого металла (М) в кристаллизаторе (11), снабженном трубчатой полостью (12), имеющей полигональное поперечное сечение, заданное определенным количеством сторон (n), отличающийся тем, что указанное изделие Р, выходящее из кристаллизатора 11, направляют по кривой вдоль литейной линии (18) удерживающими и изгибающими роликами (19) без помощи боковых секторов, удерживающих поперечное сечение изделия Р, при этом указанный способ включает установку производительности (P_r) указанной литейной линии (18), выбранной в пределах рабочей зоны, ограниченной первой достигаемой максимальной производительностью (P_{rmaxb}) и второй достигаемой максимальной производительностью (P_{rmaxt}), и указанная первая достигаемая максимальная производительность (P_{rmaxb}) определяется выражением:

$$P_{rmaxb} = 0,9 * \rho * K^2 * \left(\frac{n}{\tan \left(\frac{\pi}{n} \right)} \right)$$

где ρ - удельный вес твердого металла;

K - постоянная в диапазоне 0,04-0,05;

n - количество сторон указанной полигональной трубчатой полости (12);

а указанная вторая достигаемая максимальная производительность (P_{rmaxt}) определяется выражением:

$$P_{rmaxt} = 0,9 * \rho * D^2 * \left(\frac{K_s}{t_{min}} \right)^2 * n * \tan \left(\frac{\pi}{n} \right)$$

где ρ - удельный вес твердого металла;

D - размер поперечного сечения указанного изделия (Р);

K_s - постоянная затвердевания, определяемая как функция материала указанного жидкого металла (М);

t_{min} - предварительно заданная минимальная толщина указанного изделия (Р);

n - количество сторон указанной полигональной трубчатой полости (12);

при этом указанная производительность (P_r) установлена таким образом, чтобы она была меньше минимального значения или равна минимальному значению между первой максимальной производительностью (P_{rmaxb}) и второй максимальной производительностью (P_{rmaxt}), и указанный способ включает использование указанного кристаллизатора (11) с количеством сторон (n), определенным таким образом, чтобы получить указанную заданную производительность (P_r).

2. Способ по п.1, обеспечивающий определение оптимального количества сторон (n_{ott}), подходящего для оптимизации указанной производительности (P_r), и указанное оптимальное количество сторон

(n_{ott}) определяет выражение:

$$n_{ott} = \text{int} \left(\frac{\pi}{\arctan \left(\frac{K}{K_s} * \frac{t_{min}}{D} \right)} \right)$$

где int - целое число, аппроксимированное погрешностью выражения, заключенного в скобки;

K - постоянная в диапазоне 0,04-0,05;

K_s - постоянная затвердевания, определяемая как функция материала указанного жидкого металла (M);

D - размер поперечного сечения указанного изделия (P);

t_{min} - предварительно заданная минимальная толщина указанного изделия (P).

3. Способ по п.2, обеспечивающий, если кристаллизатор (11) имеет количество сторон (n) менее указанного оптимального количества сторон (n_{ott}), литье указанного изделия (P) со скоростью литья, определяемой выражением:

$$V_c \leq (K/W)^2$$

где W - длина стороны указанного многоугольника.

4. Способ по п.2, обеспечивающий, если кристаллизатор (11) имеет количество сторон (n) более указанного оптимального количества сторон (n_{ott}), литье указанного изделия (P) со скоростью литья, определяемой выражением:

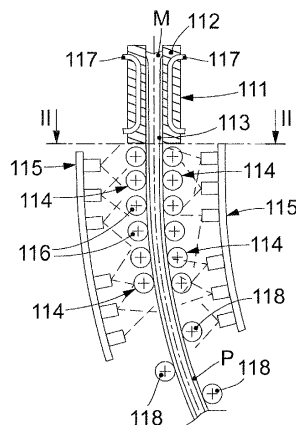
$$V_c \leq \left(\frac{K_s}{t_{min}} \right)^2$$

5. Способ по любому из пп.1-4, в котором указанное количество сторон (n) выбрано из 4, 6 и 8.

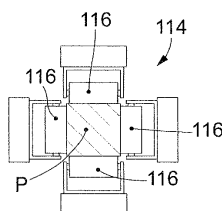
6. Способ по любому из пп.1-5, в котором указанная литейная линия (18) имеет производительность P_r больше или равную 60 т/ч.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором трубчатая полость (12) определена множеством стенок (14), образующих стороны кристаллизатора (11), а все стенки (14) кристаллизатора (11) имеют одинаковые размеры.

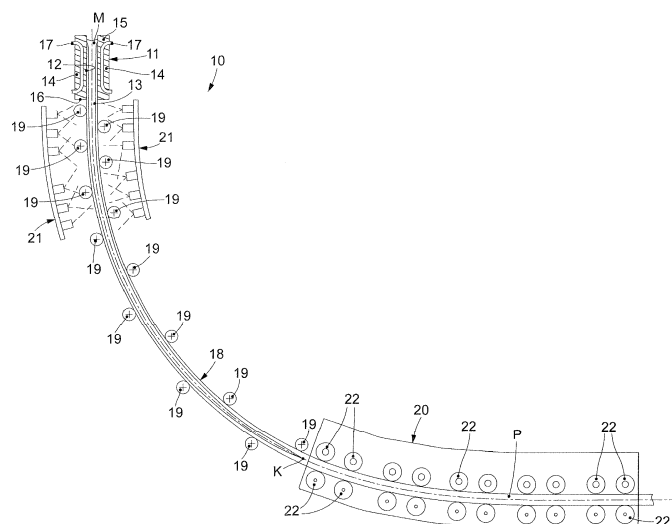
8. Способ по любому из пп.1-7, в котором указанная минимальная толщина t_{min} имеет значение в диапазоне от 7 до 9 мм, предпочтительно более 8 мм.



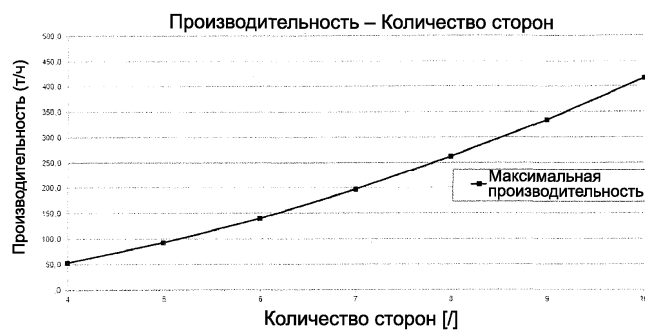
Фиг. 1



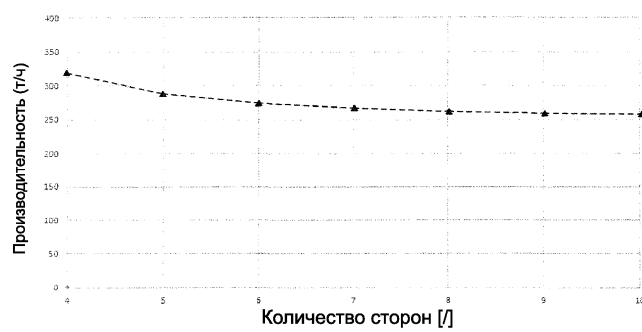
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

