

Изобретение относится к металлургии, конкретнее к непрерывной разливке стали с высоким содержанием меди.

Известен способ непрерывной разливки заготовок прямоугольного сечения [1], включающий заливку металла в кристаллизатор, формирование слитка и его вытягивание с переменной скоростью, в котором начальную скорость вытягивания определяют из условия

$$\frac{1}{M} \cdot K < V_0 T_0 < \frac{H}{L} \cdot K,$$

где T_0 - первый замер температуры в проковше, К;

M - отношение содержания марганца к сере;

H - толщина заготовки, см;

L - ширина заготовки, см;

$$K = \frac{S \cdot f \cdot B \cdot G_1 \cdot A}{1000 \cdot G_2 \cdot h} - \text{комплекс технологических параметров, м} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{К};$$

S - амплитуда качания, м;

f - частота качания, с^{-1} ;

B - основность шлакообразующей смеси;

G_1 - расход воды на кристаллизатор, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

A - константа материала, $\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}$;

G_2 - удельный расход воды в зоне вторичного охлаждения, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$;

h - уровень металла в кристаллизаторе, м

и изменяют ее текущее значение V_i при изменении температуры металла по ходу плавки по условию:

$$V_i = V_0 \frac{T_0}{T_i},$$

где T_i - текущее значение температуры металла.

Недостатком данного способа является то, что не учитывает присутствие фосфора в стали и влияние высокого содержания меди на макроструктуру непрерывнолитого слитка. При повышении содержания меди до 0,8% и более корректировка скорости вытягивания слитка по соотношению содержания в металле марганца и серы не позволяет устранить такие дефекты, как осевая пористость и осевые трещины. Кроме того, медь и фосфор в значительной степени ответственны за возникновение наружных продольных трещин в слитках. Предложенный метод определения скорости вытягивания приводит к получению таких ее значений, при которых разливка стали с увеличенным содержанием меди (0,8-1,5%) сопровождается появлением осевой пористости и осевых трещин в непрерывнолитых слитках.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности является способ непрерывной разливки стали [2], включающий заливку металла в кристаллизатор и вытягивание из него слитка с периодически изменяемой скоростью, в котором увеличение скорости вытягивания осуществляют в течение 20-60 с до величины 1,2-1,6 рабочей скорости, а снижение ее до рабочей скорости осуществляют скачкообразно, после чего цикл повторяют.

Основным недостатком данного способа является то, что при непрерывной разливке медьсодержащей стали (Cu - 0,80...1,5%) превышение значения скорости вытягивания относительно рабочей скорости приводит к локальному повышению температуры отдельных участков заготовки в кристаллизаторе, на выходе из него и в зоне вторичного охлаждения. Это влечет за собой неравномерный теплоотвод в кристаллизаторе и развитие зон термических напряжений из-за неравномерного охлаждения различных участков непрерывнолитого слитка в зоне вторичного охлаждения. При этом увеличение скорости вытягивания сопровождается автоматическим повышением расхода воды на зону вторичного охлаждения и относительным переохлаждением участков слитка, а резкое снижение скорости вытягивания и удельного расхода воды на охлаждение поверхности слитка вызывает увеличение так называемой "выпуклости" слитков.

К недостаткам данного способа следует также отнести невозможность обеспечения (вследствие циклического характера разливки) наилучших условий охлаждения медьсодержащей стали в зоне вторичного охлаждения, а именно - изменение удельного расхода воды на охлаждение непрерывнолитого слитка вдоль зоны вторичного охлаждения по экспоненциальному закону. Это влечет за собой увеличение брака слитков по таким дефектам, как продольные и поперечные трещины и осевая рыхлость.

В основу изобретения поставлена задача создания такого способа непрерывной разливки стали, в котором новые параметры технологических операций обеспечивают отсутствие осевой рыхлости, продольных трещин и выпуклости граней непрерывнолитого слитка и за счет этого позволяют повысить качество слитков из стали с содержанием меди 0,8...1,5%.

Поставленная задача решается тем, что в способе непрерывной разливки стали, включающем подачу металла в кристаллизатор, вытягивание слитка с рабочей скоростью и изменение скорости вытягивания, согласно изобретению, изменение скорости осуществляют через 0,17...0,22 общей продолжительности разливки от рабочего значения до значения, определяемого из соотношения

$$V_B = -0,002 \cdot \frac{[Cu]}{[P]} + 0,957,$$

где V_B - скорость вытягивания слитка, м/мин;

[Cu], [P]- содержание меди и фосфора в металле, мас. %;

"-0,002" и "0,957" - эмпирические коэффициенты, учитывающие скорость вытягивания слитка и содержание меди и фосфора в стали, и поддерживают эту скорость до окончаний разливки.

Вытягивание слитка при разливке стали с содержанием меди 0,8...1,5% в первые 15-20 мин. (0,17...0,22 общей продолжительности разливки) ведут со скоростью, которая для данного класса сталей принята за рабочую. За это время длина слитка достигает 12...18 м и составляет 8...15% от общей длины непрерывнолитого слитка. Поверхность слитков на участке, соответствующем 8...15% общей длины, удовлетворяет требованиям по качеству к непрерывнолитым слиткам.

При продолжении вытягивания слитка с рабочей скоростью в его структуре обнаруживаются продольные трещины и "ужимины". При этом в центральной части слитков заметно развивается осевая пористость и рыхлость. Это вызвано тем, что начальная скорость вытягивания, равная рабочей, не обеспечивает на протяжении всей разливки равномерность фронта затвердевания для сталей с содержанием меди от 0,8 до 1,5%, и это является одной из причин появления при последующем затвердевании слитка осевой пористости и рыхлости.

Такой характер разливки медьсодержащей стали вызывает необходимость плавного изменения скорости вытягивания слитка по ходу разливки. Экспериментально установлено, что скорость вытягивания слитка необходимо изменять через 0,17...0,22 общей продолжительности от начала непрерывной разливки.

При изменении скорости вытягивания менее чем через 0,17 от общей продолжительности разливки происходит увеличение осевых дефектов непрерывнолитого слитка, а при изменении скорости вытягивания слитка более чем через 0,22 от общей продолжительности разливки происходит рост брака непрерывного литья по поверхностным дефектам, вызываемым накоплением термических напряжений.

Увеличение содержания меди в стали приводит к необходимости снижения начальной рабочей скорости вытягивания, а увеличение содержания фосфора в медьсодержащей стали вызывает необходимость увеличения скорости вытягивания слитка. При этом влияние меди на скорость вытягивания слитка существенно выше, чем влияние фосфора.

Плавное изменение скорости вытягивания слитка необходимо для того, чтобы уменьшить отрицательное воздействие на качество слитка резких колебаний скорости и связанных с ними резких изменений условий охлаждения слитка. Изменение скорости целесообразно проводить в течение 60...100 с. Это время позволит при сохранении экспоненциального характера подачи воды в зону вторичного охлаждения исключить перегрев отдельного участка слитка или эффект "термического удара".

Дальнейшую разливку вплоть до ее окончания ведут при постоянной скорости.

Способ осуществляется следующим образом.

Из конвертера емкостью 350 т выпускают в ковш металл и после продувки металла аргонem на установке доводки стали в ковше разливают на двухручьеvой МНЛЗ криволинейного типа на заготовки сечением 250 x 1550 мм. Температура металла в промежуточном ковше составляет 1535-1540°С. Расход воды на кристаллизатор - 330 м³/ч, распределение воды в зоне вторичного охлаждения осуществляется по экспоненциальному закону. Величина отношения меди к фосфору составляла от 39,05 до 86,47 для различных плавов. Химический состав стали при разливке отдельных плавов колебался в следующих пределах, %; углерод 0,06-0,12, кремний 0,15-0,40, марганец 0,7-1,2, медь 0,8-1,5, никель 1,15-1,55, ванадий 0,05-0,12, алюминий 0,02-0,06, барий 0,001-0,05, хром 0,1-0,4, сера 0,009-0,020, фосфор 0,011-0,021.

Результаты непрерывной разливки приведены в таблице.

Вытягивание слитка начинают при скорости 0,9 м/мин., которая является рабочей скоростью вытягивания для стали данного состава и температуры. Через 12, 15, 17, 20, и 23 мин, после начала разливки скорость вытягивания плавно снижают до величины

$$V_B = - 0,002 \cdot \frac{[Cu]}{[P]} + 0,957,$$

абсолютные значения которой указаны в таблице. Кроме того, скорость вытягивания варьировали до величин, больших и меньших, чем величина, соответствующая соотношению содержаний меди и фосфора в составе данной плавки (варианты 3, 5, 10, 12).

Разливка по предлагаемому способу обеспечивает получение требуемого качества непрерывнолитых слитков (варианты 2, 4, 6, 9, 11, 13) при соблюдении всех заявляемых признаков.

При выходе за заявленные параметры (варианты 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12, 14) существенно увеличивается число забракованных слитков из-за возникновения термических напряжений, развития внутренних дефектов и трещинообразования.

При разливке стали по способу-прототипу получены удовлетворительные показатели макроструктуры слитков только по осевым трещинам. Способ не обеспечил отсутствие таких дефектов как осевая рыхлость, продольные трещины и выпуклость.

Вариант	Содержание элементов, мас. %		Отношение [Cu]	Скорость вытаягивания слитка по формуле $-0,002 \times \frac{[Cu]}{[P]} + \frac{[P]}{-0,957}$, м/мин	Фактическая скорость вытаягивания слитка, м/мин	Начало изменения скорости вытаягивания слитка		Всего разлито слитков, шт.	Число слитков с количеством дефектов, превышающим допустимые границы, шт.			
	[Cu]	[P]				доля от общей продолжительности разливки	время, мин.		осевые трещины	осевая рыхлость	продольные трещины	выпуклость граней
1	0,81	0,017	47,65	0,862	0,862	0,13	12	12	2	1	1	1
2	0,82	0,015	54,67	0,848	0,848	0,17	15	11	1	-	-	-
3	0,82	0,021	39,05	0,879	0,830	0,19	17	12	1	1	-	-
4	0,80,	0,019	42,11	0,873	0,873	0,19	17	12	-	-	-	-
5	0,83	0,018	46,11	0,865	0,900	0,19	17	11	1	1	1	-
6	0,82	0,014	58,57	0,840	0,840	0,22	20	10	-	-	-	-
7	0,80	0,011	72,73	0,812	0,812	0,26	23	11	1	1	2	1
8	1,45	0,017	85,29	0,786	0,786	0,13	12	12	2	1	-	2
9	1,49	0,019	78,42	0,800	0,800	0,17	15	12	-	-	-	-
10	1,47	0,017	86,47	0,784	0,750	0,19	17	12	1	1	-	-
11	1,50	0,021	71,43	0,814	0,814	0,19	17	11	-	-	-	-
12	1,47	0,020	73,50	0,810	0,860	0,19	17	12	1	1	1	-
13	1,48	0,019	77,89	0,801	0,801	0,22	20	12	-	1	-	-
14	1,47	0,018	81,67	0,794	0,794	0,26	23	11	1	-	1	2
Прототип	1,20	0,015	78,67	0,802	0,802	0,22	20	11	-	1	1	1

* - Классификация и оценка дефектов по ОСТ 14-4-73 и ТУ 14-1-3347-82.