

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

(21) 96093484

(22) 06.09.1996

(24) 17.12.2001

(46) 17.12.2001, Бюл. № 11, 2001 р.

(72) Остроушко Анатолій Вікторович, Бондар Владислав Іванович, Лещенко Єгор Миколайович, Овсянников Олександр Матвійович, Волков Анатолій Іванович, Якін Михайло Миколайович, Шебаніц Едуард Миколайович, Налча Георгій Іванович

(73) ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, АКЦІОНЕРНЕ ПІДПРИЄМСТВО МАРІУПОЛЬСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ

(56) 1. Дубров Н.Ф., Кривко Е.М. Кипящая сталь. М.: Металлургия. — 1984. — 96 с.

2. Авт. свид. СССР № 1373467, кл. B22B/00, 1987.

3. Авт. свид. СССР № 1445852, кл. B22D27/20, 7/00, 1988.

4. Технология производства стали 08кп для эмалируемого холоднокатанного листа // Овсянников А.М., Ештушенко В.Б., Волхов А.И. и др. Черная металлургия — Бюллетень — НТН., вып. 4. — 1990. — с. 50—51.

5. Самарин А.М. Физико-химические основы раскисления стали. — М.: Изд. АН СССР, 1956. — 504 с.

(57) 1. Способ разлива стали, включающий последовательную присадку при наполнении излож-

ницы металлом титансодержащего материала, а затем ферросилиция, отличающийся тем, что титансодержащий материал вводят под струю при наполнении изложницы жидким металлом до уровня, определяемого из выражения:

$$H_1 = H_0 \frac{H_0}{\tau_0} \cdot \tau_{\Phi},$$

где  $H_0$  - уровень налива металла в изложнице в соответствии с заданной массой слитка,

$\tau_0$  - время наполнения металлом изложницы до уровня  $H_0$ ;

$\tau_{\Phi}$  - время усвоения титансодержащего материала.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что время наполнения металлом изложницы до уровня  $H$  определяют из выражения:

$$\tau_0 = \tau' + \Delta\tau$$

где:  $\tau'$  - время наполнения металлом предыдущей по ходу разлива изложницы;

$\Delta\tau$  - временная поправка, равная 2-3 с.

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к производству стали для эмалируемого холоднокатанного листа.

Качество слитков кипящей стали и заготовок, полученных из МНЛЗ, в значительной степени зависит от состава, количества, размеров, формы и характера неметаллических включений.

На загрязненность стали неметаллическими включениями и их характеристики существенное влияние оказывает интенсивность кипения металла в изложнице и методы закупоривания слитков.

Считается установленным тот факт [1], что увеличение интенсивности кипения металла до определенного предела способствует очищению его от неметаллических включений, а при чрезмерной интенсивности кипения сталь начинает загрязняться ими.

Для принудительного сокращения продолжительности кипения металла в изложнице в настоящее время наиболее широко применяется химическое закупоривание слитков кипящей стали.

Известный способ разлива кипящей стали для эмалирования [2] включает заливку жидкого металла в изложницу с последующим дополнительным раскислением его после заполнения изложницы смесью титана, ферросилиция и отходов угольной футеровки при массовом соотношении компонентов 1:(0,5...2,0):(0,1...0,3).

Применение титана для химического закупоривания слитков, предназначенных для производства стали для эмалирования, позволяет исключить образование дефекта типа "рыбья чешуя", а также в смеси с ферросилицием и отходами угольной футеровки осуществить практически пол-

ное химическое закупоривание стали в течение 5–10 с после ввода смеси.

Однако при одновременном вводе ферротитана и ферросилиция на зеркало металла в изложницу в таких количествах образуются тугоплавкие неметаллические включения, загрязняющие металл [1], кроме того, приготовление смесей связано с повышением затрат и трудоемкости производства.

Для снижения количества неметаллических продуктов раскисления в слитке предложен способ обработки расплава, включающий введение на зеркало расплава отдельно ферротитана через 1,6–2,0 мин после окончания заливки расплава, а затем (через 0,2, 0,3 мин после окончания ввода ферротитана кремния [3].

Последовательный ввод ферросилиция после ферротитана исключает проникновение кремния в тело слитка, но увеличивает угар титана и загрязнение металла оксидами и нитридами титана.

Наиболее близким техническим решением к заявляемому по совокупности признаков и достигаемому результату является технология производства стали 08 кп для эмалируемого холоднокатанного листа [4], осуществляемая последовательными присадками дробленого 65–68%-ного ферротитана в количестве 0,40–0,45 кг/т стали, присаживаемого через 1–2 мин после наполнения сталью изложницы, и дробленого 65%-ного ферросилиция, вводимого в количестве 0,4–0,5 кг/т, после усвоения ферротитана. Осадка металла в изложнице производится 65–68% ферротитаном, подаваемым под струю металла в количестве 0,02–0,03 кг/т за 100–200 мм до верхнего уровня налива. Применение 65–68%-ного ферротитана в количестве 0,4–0,45 кг/т стали позволило исключить образование дефекта типа "рыбья чешуя" при эмалировании, а двухстадийный ввод ферротитана, а затем ферросилиция способствовало увеличению выхода годного за счет увеличения количества оптимально закупоренных слитков и снижения брака по расслою при штамповке изделий.

Вместе с тем присадка ферротитана на зеркало металла после наполнения изложницы металлом до заданного уровня по известному способу [4] приводит к значительному угару титана, взаимодействующего с кислородом воздуха на поверхности металла, так как плотность 65–68% ферротитана ниже плотности жидкой стали (5280 кг/м<sup>3</sup> против 7000 кг/м<sup>3</sup>).

При этом выделяется 11249 кДж/кг теплоты, которая частично расходуется на нагрев воздуха в зоне взаимодействия ферросплава со сталью и частично отводится к слитку.

Продуктами окисления являются тугоплавкие оксиды титана, главным образом TiO<sub>2</sub>, которые конвективными потоками заносятся в верхнюю часть слитка. Кроме того, процесс растворения титана в металле и степень раскисления им металла в значительной степени зависят от колебаний температуры и скорости разливки металла разных плавов. Это приводит к увеличению доли слитков с наплывами или вогнутой поверхностью и, как следствие, повышению расходного коэффициента металла.

В основу изобретения поставлена задача разработать способ разливки кипящей стали, в котором использованы новые условия осуществления способа разливки, позволяющие уменьшить образование тугоплавких продуктов окисления ферросплава, угар ферросплава и за счет этого повысить качество металла и выход годного при минимальных материальных затратах.

Для решения поставленной задачи в способе разливки кипящей стали, включающем последовательную присадку при наполнении изложницы металлом титаносодержащего материала, а затем ферросилиция.

В соответствии с изобретением титаносодержащий материал вводят под струю при наполнении изложницы металлом до уровня, определяемого из выражения

$$H_1 = H_0 \frac{H_0}{\tau_0} \tau_{\text{ф}},$$

где  $H_0$  – уровень налива металла в изложнице, в соответствии с заданной массой слитка;

$\tau_0$  – время наполнения металлом изложницы до уровня  $H_0$ ;

$\tau_{\text{ф}}$  – время усвоения титаносодержащего материала.

Присадка материала, содержащего титан, под струю металла до окончания наполнения изложницы металлом обеспечивает натягивание его в объем металла падающей струей при разливке сверху, намораживание металла из расплава на частицах материала, их нагрев, плавление и химическое взаимодействие с расплавом в течение времени  $\tau_{\text{ф}}$  – времени усвоения титаносодержащего материала. Жидкие продукты взаимодействия расплава и вводимого материала выносятся восходящими конвективными потоками кипящего металла в изложнице в верхнюю ее часть. Титан, содержащийся в титаносодержащем материале реагирует с кислородом, растворенным в стали. Отсутствие контакта с воздухом значительной части материала повышает степень его полезного расходования на раскисление стали и растворение в расплаве, что позволяет снизить его расход, а следовательно, и количество неметаллических включений: оксидов и нитридов титана.

Величина  $\tau_{\text{ф}}$  зависит от температуры плавления титаносодержащего материала, размера его кусков, их формы, температуры стали. Чем ниже температура плавления материала, меньше размеры его кусков и выше температура жидкой стали, тем быстрее он усваивается.

В форме пластин титаносодержащих материал усваивается дольше, чем в форме шара.

На основании литературных данных, физического моделирования и расчета времени намораживания расплава на частицы титаносодержащего материала их последующего нагрева, плавления и химического взаимодействия с расплавом установлено, что время, необходимое для усвоения молотого 65–68%-ного ферротитана, имеющего температуру плавления 1250°C и средний размер частиц неправильной формы ~10 мм, при температуре жидкой стали в изложнице 1550°C, что составляет  $(7 \pm 2)$  с, ферротитана 30%-ного с тем-

пературой плавления  $1450^{\circ}\text{C} - 10 \pm 3\text{с}$ , а чистого титана с температурой плавления  $1670^{\circ}\text{C} - 15 \pm 3\text{с}$ .

В соответствии с предлагаемой технологией разлики кипящей стали при отливке первого слитка определяют время  $\tau_0$ , необходимое для обеспечения уровня налива  $H_0$ , соответствующего заданной массе слитка

Обычно  $H_0$  соответствует отметка  $\sim 100$  мм от верхнего торца изложницы. При наполнении первой изложницы титансодержащий материал присаживают под струю металла при недоливе изложницы на  $\sim 300$  мм. При отливке второго и последующих слитков материал, содержащий титан вводят под струю при наполнении изложницы металлом до уровня  $H_1$ , определяемого из выражения:

$$H_1 = H_0 - \frac{H_0}{\tau_0} \cdot \tau_{\Phi}$$

где  $\tau_0$  — время наполнения первого слитка до уровня  $H_0$ ;

$\tau_{\Phi}$  — время, в течение которого частицы титансодержащего материала, усваиваются расплавом, с.

Для учета уменьшения скорости заполнения металлом изложницы вследствие уменьшения его количества в сталеразливочном ковше время  $\tau_0$  при разливе больших серий слитков может значительно изменяться — увеличиваться. Это обстоятельство учитывают путем определения времени  $\tau_0$  как времени наполнения металлом до уровня  $H_0$  каждого предыдущего отливаемого слитка плюс время, учитывающее уменьшение скорости наполнения расплавом каждого последующего слитка по сравнению с отливаемым

В этом случае момент ввода ферротитана в изложницу соответствует величине недолива до уровня  $H_0$ , определяемого из выражения:

$$\Delta H = \frac{H_0}{\tau_0} \tau_{\Phi}$$

где  $\Delta H$  — величина недолива до уровня  $H_0$ , мм;

$\tau_{\Phi}$  — время усвоения титансодержащего материала, с;

$$\tau_0 = \tau' + \Delta t, \text{ где}$$

$\tau_0$  — время наполнения расплавом изложницы до уровня  $H_0$ , с;

$\tau'$  — время наполнения расплавом предыдущей изложницы, с;

$\Delta t$  — временная поправка, определяемая экспериментально и учитывающая увеличение времени наполнения расплавом изложницы до уровня  $H_0$  отливаемого слитка, с.

На основании экспериментальных данных и обобщения сведений из литературных источников величина временной поправки составляет 2–3 с при массе отливаемых слитков до 30 т и емкости сталеразливочного ковша до 500 т.

Если титансодержащий материал вводить при меньшем или большем уровне недолива металла в изложницу, чем это рекомендуется, то увеличивается загрязненность металла неметал-

лическими включениями и величина расходного коэффициента.

Известно [5], что при содержании титана в стали более 0,04% (масс.) продукты химического реагирования титана насыщены двуокисью титана ( $\text{TiO}_2$ ) и ее активность можно считать равной единице. При низком содержании титана ( $\ll 0,04\%$  масс.) продукты химического реагирования насыщены соединением  $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ , образующимся по реакции:

$[\text{Ti}] + 4[\text{O}] + 2[\text{Fe}] = \text{Fe}_2\text{TiO}_4$ , причем это соединение легкоплавкое и находится в расплаве в жидком состоянии. Последнее обстоятельство отвечает благоприятным условиям для всплывания частиц этого химического соединения

В нашем случае ввод 7 кг 65%-ного ферротитана обеспечивает его концентрацию на уровне 0,026% (масс.), что удовлетворяет условию образования соединения  $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ , находящегося в жидком состоянии

**Пример 1.** Сталь марки 08 кп, имеющую химический состав (% по массе):

C — 0,06; Mn — 0,27; Si — 0,01; S — 0,027; P — 0,019; Cr — 0,007; Ni — 0,008; Cu — 0,007, разливали сверху из 480-т ковша в уширенные книзу изложницы на слитки массой 19 т для эмалируемого холоднокатанного листа. Время отливки первого слитка при его высоте 2,5 м составило 90 с, что соответствовало скорости наполнения изложницы металлом

$$V = \frac{2,5}{90} = 0,028 \text{ м/с.}$$

Величину недолива до уровня наполнения изложницы металлом, соответствующего моменту присадки молотого 65%-ного ферротитана, определили из найденного выражения.

$$\Delta H = \frac{H_0}{\tau_0} (7 \pm 2) = 0,024 \text{ м} = 200 \text{ мм}$$

Перед разливкой стали заранее готовят крючки с отогнутыми под углом  $90^{\circ}$  концами длиной 100, 200, 300 мм на следующих по ходу разлики изложницах.

При подходе металла до отметки 300 мм от верхнего торца изложницы (с учетом недолива до верхнего торца изложницы 100 мм) присаживали под струю 65%-ный ферротитан в количестве 0,34 кг/т. Через 30 с после наполнения металлом изложницы на зеркало металла присадили молотый 65%-ный ферросилиций в количестве 0,47 кг/т.

Для сравнения был отлит слиток в соответствии с известной технологией: ферротитан 65%-ный присаживали на зеркало металла после наполнения изложницы до уровня  $H_0$  в количестве 0,42 кг/т стали и после его усвоения — ферросилиций в количестве 0,47 кг/т.

**Пример 2.** Сталь марки 08 кп, следующего химического состава (% по массе):

C — 0,06; Mn — 0,26; Si — 0,02; S — 0,026; P — 0,020; Cr — 0,008; Ni — 0,007; Cu — 0,007 разливали сверху из 480-тонного ковша в уширенные книзу изложницы на слитки массой 19 т для эмалируемого холоднокатанного листа. Время отливки десятого слитка при высоте наполнения расплавом изложницы 2,5 м составило 108 с. Величина недо-

лива в одиннадцатой по ходу разливки изложнице до уровня, соответствующего моменту присадки молотого 65%-ного ферротитана, определили из приведенного выше выражения:

$$\Delta H = \frac{H_0}{t_0} \cdot (7 \pm 2) = \frac{25}{108 \pm 2} = 0,182 \text{ м} \approx 180 \text{ мм}$$

По достижению расплавом отметки 280 мм от верхнего торца изложницы (с учетом недолива в 100 мм до верхнего среза изложницы), определяемой по меткам заранее подготовленных крючков, описанных в примере 1, присаживают молотый 68%-ный ферротитан в количестве 0,34 кг/т, а спустя 30 с после наполнения металлом изложницы на зеркало внесли молотый 65%-ный ферросилиций в количестве 0,47 кг/т.

В качестве сравнительного использовали слиток, отлитый по базовой технологии (см. пример 1).

Для изучения качества макроструктуры металла, количества и характера распределения титана в объеме слитка, отбирались темплеты из слябных раскатов опытного и сравнительного слитков на разных уровнях по длине раската. Глубина залегания усадочных дефектов в опытном и сравнительном раскатах оказались практически одинаковой и от линии головной обрезки составляла 10,3% и 10,8% соответственно.

Проверка химической неоднородности показала, что ликвация углерода и серы имеет наибольшие значения в сравнительном слябном раскате и составляет по углероду +100% (на уровне 30%) и +83% (на уровне 10%), а по сере +85,2% (на уровне 42,5%).

В опытном слябном раскате максимальная ликвация углерода имеет значение +66,7% (на уровне 20,5%) и -50% (на уровне 2,7%), а ликвация серы +18,5% (на уровне 37%) и -59,2% (на уровне 5,2%).

Результате химического анализа проб металла, отобранных из темплетов приведены в таблице 1 и доказывают, что использование предлагаемого способа позволяет получать металл с качественно новыми характеристиками.

Из данных таблицы 1 следует, что титан в слитке, полученном по заявляемой технологии обнаружен и распределен практически равномерно в объеме слитка в количествах много меньших, чем его первоначально вводимое. Это обстоятельство подтверждает участие вводимого титана в акции химического реагирования. Наличие остаточных количеств титана в объеме слитка целесообразно ввиду связывания им водорода с образованием гидридов, что особенно важно при производстве стали для эмалирования и что не реализуется при разливке по базовой технологии.

Таблица 1

Результаты химического анализа

Слябный раскат	Уровень отбора, в % от длины раската	Место отбора снаружи по толщине раската	Содержание титана, % (масс.)
Опытный (заявляемая технология)	0	У узкой гарни на 1/3 ширины раската	0,003 0,005
	15	—	0,003 0,002
	25	—	0,003 0,002
	50	—	0,002 0,003
	75	—	0,003 0,003
	90	—	0,002 0,002
Сравнительный (базовая технология)	0	У узкой гарни на 1/3 ширины раската	Не обнаружен —
	15	—	— —
	25	—	— —
	50	—	— —
	75	—	— —
	90	—	— —

Следует отметить также, что еще одно из существенных преимуществ предлагаемого способа проявляется в меньших значениях величин

расходных коэффициентов на этапе передела "слиток-сляб". Величины расходных коэффициентов приведены в таблице 2.

Значение расходных коэффициентов

Номера опытов	Значение расходного коэффициента	
	Базовая технология	Опытная технология
1	1,102	1,091
2	1,100	1,089
3	1,159	1,157
4	1,131	1,099
Ср.	1,123	1,109

Таким образом можно сделать вывод, что заявляемый способ позволяет повысить качество металла и выход годного на 14 кг/т стали при снижении расхода ферротитана до 11 кг/т стали.

## Список литературы.

1. Дубров Н.Ф., Кривко Е.М. Кипящая сталь. М.: Металлургия. – 1984. – 96 с.
2. Авт. свид. СССР № 1373467, кл. N22D/00, 1987.

3. Авт. свид. СССР № 1445852, кл. B22D27/20, 7/00, 1988.

4. Технология производства стали 08кп для эмалируемого холоднокатаного листа // Овсянников А.М., Евтушенко В.Б., Волхов А.И. и др. Черная металлургия – Бюллетень – НТН., вып. 4. – 1990. – с. 50–51.

5. Самарин А.М. Физико-химические основы раскисления стали – М.: Изд. АН СССР, 1956. – 504 с.

Тираж 50 экз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03

2  
 3  
 4  
 5  
 6  
 7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100