

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KWJR9225>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***Р. А. Бегалиев¹, К. К. Шабенов²**

^{1,2}ПФ ТОО «KSP Steel», Республика Казахстан, г. Павлодар

УЛУЧШЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБНЫХ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

В работе исследованы процессы структурообразования литой стали микролегированной бором.

Для исследования в работе была выбрана сталь 28ХМР, которая в дальнейшем подвергается термической обработке. Для сравнительных плавок при проведении исследования использовали сталь 30ХМА, которая близка по химическому составу, что позволяло исключить при исследовании влияние таких химических элементов как углерод, хром и молибден на формирование литой структуры стали.

В работе использовали методы оценки макроструктуры заготовок по стандарту организации СТО – 007–2009 и оптико - эмиссионную спектрометрию по ГОСТ 18895.

Выплавка стали осуществлялась в дуговой печи (ДСП) емкостью 60 тонн одношлаковым процессом с доводкой стали на агрегате ковши-печь (АКП) и ковшевом вакууматоре (КВ).

Экспериментальным путем выявлено положительное влияние микролегирования стали бором на макроструктуру непрерывнолитой заготовки.

Установлено положительное влияние процесса микролегирования стали бором на такие показатели макроструктуры трубной непрерывнолитой заготовки, как центральная пористость и осевая химическая неоднородность (улучшение качества примерно в два раза), что может быть связано с образованием мелкодисперсных нитридов бора, являющихся центрами кристаллизации и приводящие к уменьшению зоны столбчатых кристаллов и размера зерна стали.

На втором этапе работы была получена математическая модель зависимости развития центральной пористости от технологических параметров разливки (скорость литья и температура жидкой стали).

Ключевые слова: сталь, непрерывнолитая заготовка, модификатор, бор, бесшовная труба.

Введение

В Казахстане производство сортового проката представлено в ТОО «KSP Steel», ТОО «Кастинг», АО «АрселорМиттал Темиртау», ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод», ТОО «ERG Service» (Ремонтно-механический металлопрокатный завод).

В практике современного металлургического производства одним из перспективных направлений повышения качества металлопроката, не требующих значительных сырьевых и энергетических затрат, является микролегирование сталей химически активными элементами, оказывающими эффективное влияние на формирование в сталях структурного состояния, улучшающего комплекс потребительских свойств. Основными микролегирующими элементами, которые нашли широкое применение, являются ниобий, ванадий, цирконий, титан [1–6].

Наряду с такими дорогостоящими и дефицитными элементами, как ниобий, ванадий, цирконий, титан и другие, в практике микролегирования стали широко применяют бор [7–10].

Влияние бора на качество конструкционной стали, главным образом, связывают с повышением прокаливаемости стали. По данным [8, 10] при содержании бора в количестве $10^{-3} \div 10^{-4}$ % вязкость низко- и среднелегированных сталей соответствует результату, который можно получить при легировании хромом, марганцем, молибденом или никелем, только в 100–300 раз превышающими добавки бора.

Кроме этого влияние бора в сталях может проявляться в следующем [7–10]:

- повышении пластичности стали;
- уменьшении отрицательного оstarивающего влияния свободного азота за счет связывания его в боронитридные и карбоборонитридные соединения, что увеличивает пластичность и деформируемость проката при холодном формоизменении;
- улучшении деформируемости неметаллических включений;
- нейтрализации негативного воздействия Cr, Ni, Cu на скорость распада аустенита при процессах патентирования;
- улучшении управляемости технологическим процессом термической обработки в потоке производства проката и формировании оптимальной структуры за счет увеличения прокаливаемости стали;
- измельчении столбчатых кристаллов в сечении непрерывнолитых заготовок, что обуславливает уменьшение осевой ликвации (особенно углерода для высокоуглеродистых сталей) и, соответственно, увеличении предельной деформируемости.

В настоящее время накоплен опыт производства сталей с микродобавками бора, содержащих углерод в пределах 0,05–0,70 %, которые используются для изготовления подката для высокопрочного крепежа, тонколистового проката для холодной штамповки, толстолистового проката для судостроения и ответственных стальных конструкций, других видов металлопроката [7, 9, 10].

Микролегирование жидкой стали бором может осуществляться различными способами [11]:

- с помощью рафинирующих шлакообразующих смесей, содержащих легкоплавкие соединения бора (бура, датолит, борная кислота, углекислот и др.), вводимых в изложницу до начала разлива. Интенсивное газовыделение при кристаллизации кипящей стали обеспечивает хорошее перемешивание жидких

металлической фазы и шлаковой смеси, что создает благоприятные кинетические условия для восстановления бора из содержащихся в шлаке окислов и перехода в жидкий металл;

– путем введения на ковше-печи при финишной доводке стали или в изложницу перед разливкой кускового ферробора марок ФБ-6, 10, 17, 20 с содержанием бора соответственно 6, 10, 17, 20 % (не менее, ГОСТ 14848) или специальных борсодержащих алюминотермических лигатур с алюминием, хромом, никелем фракции 10-50 мм в количествах, обеспечивающих требуемое (обычно 0,002–0,006 % по массе) содержание бора в стали;

– путем ввода борсодержащей порошковой проволоки в жидкую сталь на агрегате ковш–печь или установке доводки металла.

Материалы и методы

Для исследования процессов структурообразования литой стали микролегированной бором с целью улучшения свойств трубных марок стали, в работе была выбрана сталь 28ХМР, которая в дальнейшем подвергается термической обработке.

Для сравнительных плавов при проведении исследования использовали сталь 30ХМА, которая близка по химическому составу, что позволяет исключить при исследовании влияние таких химических элементов как углерод, хром и молибден на формирование литой структуры стали.

Химический состав стали 28ХМР и 30ХМА приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали, %

Марка стали	С	Si	Mn	P, не более	S, не более	Cr	Ni, не более	Cu, не более	Mo	B
28ХМР	0,26-0,30	0,20-0,25	0,30-0,50	0,020	0,005	0,90-1,10	0,10	0,15	0,50-0,80	0,002-0,005
30ХМА	0,26-0,33	0,17-0,37	0,40-0,70	0,025	0,025	0,80-1,10	0,30	0,30	0,50-0,80	-

Для микролегирования использовался ферробор (таблица 2).

Таблица 2 – Химический состав ферробора, %

Марка	B	Si	Al	C
FeB 12C	10-14	0,5-4,0	2,0	0,1
FeB 17C	14-19	0,5-4,0	2,0	0,1

В работе использовали следующие методы исследования:

– оценка макроструктуры заготовок по стандарту организации СТО - 007-2009, устанавливающему метод контроля макроструктуры непрерывнолитой заготовки из углеродистой, легированной и высоколегированной стали для производства сортового проката и труб;

– оптико – эмиссионная спектрометрия по ГОСТ 18895 на оптико-эмиссионном спектрометре ДФС-500.

Выплавка стали осуществлялась в дуговой печи (ДСП) емкостью 60 тонн одношлаковым процессом с доводкой стали на агрегате ковш-печь (АКП) и ковшевом вакууматоре (КВ). Дуговые печи были оснащены стеновыми газокислородными горелками, углеродными инжекторами, системой эксцентричного донного выпуска, системой подачи ферросплавов. Установка АКП была предназначена: для окончательной доводки стали по химическому составу и температуре; десульфурации стали; удаления неметаллических включений и модифицирования; согласования работы агрегатов при разливке стали сериями на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Ковшовый вакууматор использовался для удаления растворенных газов из стали и дальнейшего ввода проволоки с порошковыми наполнителями (С, FeTi, FeV, FeNb, SiCa и др.) при помощи трайбаппарата.

В качестве шихтовых материалов использовались:

- металлолом категории 1А, 2А, отходы передельных участков по ГОСТ 2787;
- для науглероживания – углеродсодержащий материал фракцией 0,5–2 мм, с содержанием углерода не менее 93 %;
- шлакообразующие материалы – известь свежееобожженная с содержанием активных окисей CaO+MgO не менее 90 %, плавиковый шпат по ГОСТ 29220-91;
- раскислители, легирующие, модификаторы – ферросиликомарганец по ГОСТ 4756 (FeSiMn), ферросилиций по ГОСТ 1415 (FeSi – 65), силикокальций по ГОСТ 4762 (СК30), ферромарганец (FeMn – 80) по ГОСТ 4755, алюминий АВ – 87 ГОСТ 295, катанку алюминиевую ГОСТ 13843-78, ферробор марки FeB 12С и FeB 17С по ГОСТ 14848.

Для производства непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) использовалась МНЛЗ радиального типа с радиусом изгибающего сектора 10000 мм. Диаметр отливаемых заготовок 210 до 300 мм. Длина заготовок от 5 до 12 метров. Непрерывная разливка осуществляется методом «плавка на плавку» закрытой струей, через погружные стаканы.

На каждой плавке отбирали поперечные темплеты НЛЗ для контроля макроструктуры.

Результаты и обсуждение

Химический состав стали приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Полученный химический состав стали, %

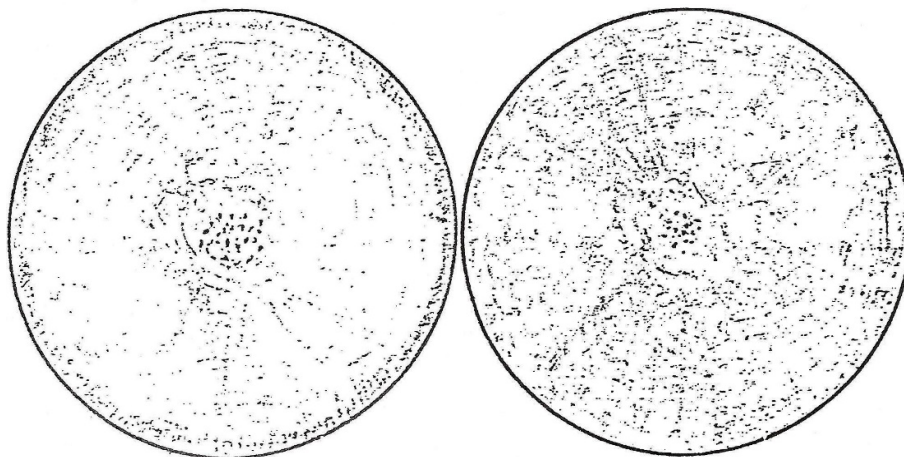
Марка стали	С	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	B
28ХМР	0,27	0,24	0,41	0,008	0,004	0,93	0,10	0,15	0,78	0,005
30ХМА	0,30	0,26	0,58	0,008	0,006	0,94	0,12	0,18	0,76	-

Усвоение данного элемента на опытной плавке составило 80–85 %.

Результаты макроструктурного анализа показали положительное влияние микролегирования стали бором на макроструктуру непрерывнолитой заготовки (таблица 4, рисунок 1).

Таблица 4 – Средние значения макроструктуры непрерывнолитой заготовки, балл

Марка стали	Центральная пористость (ЦП)	Осевая химическая неоднородность (ОХН)	Ликвационные полосы и трещины (ЛПТ)	Краевые точечные загрязнения (КТЗ)
28ХМР	0	1	1	0
30ХМА	2	2,5	1	0



Исследование показало более сильное развитие центральной (осевой) пористости в НЛЗ из стали без добавок бора.

На следующем этапе работы для составления математической модели зависимости развития ЦП от технологических параметров разливки использовались производственные данные предприятия.

В общей сложности отобрано шесть поперечных темплетов НЛЗ диаметром 300 мм по два с каждого ручья в начале и конце разливки (данные экспериментальных исследований приведены в таблице 5).

Для обработки результатов моделирования использовали регрессионный анализ, который проводили в пакете прикладных программ Microsoft Office Excel.

Таблица 5 – Экспериментальные данные

Температура стали, °С	Скорость разливки, м/мин	Осевая химическая неоднородность, баллов
x1	x2	y
1538	0,40	1,00
1532	0,40	0,50
1538	0,43	1,50
1532	0,43	1,00
1538	0,45	1,50
1532	0,45	1,50

В результате обработки этих данных было получено уравнение регрессии в виде линейной зависимости типа

$$y = k_1x_1 + k_2x_2 + b$$

где b – свободный член уравнения;

k_1 и k_2 – коэффициенты переменных x_1 и x_2 ;

x_1 и x_2 – переменные уравнения.

Принимая температуру стали в промежуточном ковше МНЛЗ за x_1 и скорость литья (для заготовок диаметром 300 мм) за x_2 получили уравнение регрессии для определения балла макроструктуры заготовки из стали 28ХМР по осевой химической неоднородности (ОХН) от температуры стали в промежуточном ковше (t) и скорости литья заготовки (v)

$$\text{ОХН} = 0,0556 \times t + 15,13 \times v - 90,57$$

Был определен коэффициент детерминации, который имеет значение $R^2 = 0,8961$, что показывает хорошую сходимость результатов.

Далее была проверена адекватность модели, рассчитан критерий Фишера и сверен с табличными данными. Расчетный критерий Фишера $F_p = 0,907$, что меньше $F_{\text{табл}}$.

Таким образом, можно сделать вывод об адекватности модели.

Из уравнения видно, что на величину балла макроструктуры по ОХН из проанализированных данных большее значение оказывает скорость литья, чем перепад температуры в течении всего периода разливки.

Выводы

1 Установлено положительное влияние процесса микролегирования стали бором на такие показатели макроструктуры трубной непрерывнолитой заготовки, как центральная пористость и осевая химическая неоднородность (улучшение качества примерно в два раза), что может быть связано с образованием мелкодисперсных нитридов бора, являющихся центрами кристаллизации и приводящие к уменьшению зоны столбчатых кристаллов и размера зерна стали.

2 Установлено, что микролегирование бором не вызывает ухудшения показателей макроструктуры непрерывнолитой заготовки по показателям ликвационных полос и трещин, а также по краевому точечному загрязнению.

3 Определен оптимальный момент присадки борсодержащих материалов, а именно, при снижении содержания активного кислорода и азота в металле до 2 и 80 ppm соответственно, что достигается вакуумированием стали и обеспечивает высокую степень усвоения бора в пределах 80–85%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Сержанов, Р. И., Богомолов, А. В., Быков, П. О., Ыксан, Ж. М.** Повышение качества непрерывнолитых заготовок и термоупрочненного сортового проката / монография под общей редакцией Р. И. Сержанова. – Павлодар : Кереку, 2011. – 258 с.
- 2 **Данченко, В. Н.** Технология трубного производства. – М. – Интерметинжиниринг, 2002. – 640 с.
- 3 **Голубцов, В. А.** Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. – Челябинск, 2006. – 423 с.
- 4 **Быков, П. О.** Совершенствование процессов выплавки стали и производства катанных помольных шаров в условиях электросталеплавильного производства Республики Казахстан : монография. – Павлодар : ПГУ имени С. Торайгырова, 2018. – 163 с.
- 5 **Быков, П. О., Езупенок, Д. С., Исакова, Д. Ж., Нургалиева, Г. Б.** Повышение пластичности среднеуглеродистых марок стали при температурах прокатки. // Наука и техника Казахстана. – 2014. – №3–4. – С. 21 – 24.
- 6 **Vykov, P. O., Tussupbekova, M. Z., Absolyamova, D. R.** Research of the Process of Production of Steel Square Continuous Billets for Rolling Balls of Large Diameter // Defect and Diffusion Forum. – 2021. – 410DDF. – P. 330 – 335.
- 7 **Акбердин, А. А.** Опытнo-промышленные испытания технологии разливки стали с применением шлакообразующих смесей на ОАО «Испат-Кармет». – Избранные труды. – Караганда : ПК «Экожан», 2008. – 754 с.
- 8 **Лякишев, Н. П., Плинер, Ю. Л., Лаппо, С. И.** Борсодержащие стали и сплавы. – М. : Металлургия, 1986. – 192 с.
- 9 **Жучков, В. И., Акбердин, А. А., Леонтьев, Л. И., Ватолин, Н. А. Ким, А. С., Заякин, О. В.** Производство и использование новых борсодержащих ферросплавов в черной металлургии // Труды научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР». – Екатеринбург : УрО РАН, 2011. – С. 198–201.
- 10 **Акбердин, А. А., Ким, А. С., Жучков, В. И., Заякин, О. В.** Новые технологии получения борсодержащих ферросплавов. – Материалы международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2011. Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии». – Караганда : Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, 2011. – С. 15–17.
- 11 **Дюдкин, Д. А., Кисиленко, В. В.** Производство стали. Т. 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки. – М. : Теплотехник, 2008. – 528 с.

REFERENCES

- 1 **Serzhanov, R. I., Bogomolov, A. V., Bykov, P. O., Yksan, Zh. M.** povyshenie kachestva nepreryvnykh zagotovok I termouprochnenogo sortovogo prokata / monografia pod obeshey redakciey R. I. Serzhanova. – Pavlodar : Kereku, 2011. – 258 p.
- 2 **Danchenko, V. N.** Tehnologiya trubnogo proizvodstva. – Moscow : Internet Inzhiniring, 2002. – 640 p.
- 3 **Golubtsov, V. A.** Teoria I praktika vvedeniya dobavok v stal vne pechi. – Chelyabinsk, 2006. – 423 p.
- 4 **Bykov, P. O.** Sovershenstvovanie procesov vyplavki stali i proizvodstva katannykh pomolnykh sharov v usloviyakh elektrostaleplavilnogo proizvodstva Respubliki Kazakhstan : monografia. – Pavlodar : PGU imeni S. Toraihyrov, 2018. – 163 p.
- 5 **Bykov, P. O., Ezupenyok, D. S., Isakova, D. Zh., Nurgalieva, G. B.** Povyshenie plastichnosti sredneuglerodistykh marok stali pri temperaturah prokatki // Nauka I tehnika Kazahstana. – 2014. – № 3-4. – S. 21 – 24.
- 6 **Bykov, P. O., Tussupbekova, M. Z., Absolyamova, D. R.** Research of the Process of Production of Steel Square Continuous Billets for Rolling Balls of Large Diameter // Defect and Diffusion Forum. 2021. – 410DDF. – P. 330–335.
- 7 **Akberdin, A. A.** Opytno-promyshlennyye ispytaniya tehnologii razlivki stali s primeneniem shlakooobrazuyuschih smesei na AO «Ispat-Karmet». – Izbrannyye trudy. – Karagandy : PK «Ecozhan», 2008. – 754 s.
- 8 **Lyakishev, N. P., Pliner, U. L., Lappo, S. I.** Borsoderzhaschie stali I splavy. – M. : Metallirgia, 1986. – 192 p.
- 9 **Zhuckov, V. I., Akberdin, A. A., Leontiev, L. I., Vatolin, N. A., Kim, A. S., Zaykin, O. V.** Proizvodstvo I ispolzovanie novykh borsoderzhaschih ferrosplavov v chernoi metallurgii // Trudy nauchno-tehnicheskoy konferencii «Problemy I perspektivy razvitiya metallurgii i mashinostroeniya s ispolzovaniem zavershonnykh fundamentalnykh issledovaniy I NIOKR». – Ekaterinburg : UroRAN, 2011. – P. 198–201.
- 10 **Akberdin, A. A., Kim, A. S., Zhuckov, V. I., Zaykin, O. V.** Novyye tehnologii polucheniya borsoderzhaschih ferrosplavov // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Abishevskie chteniya – 2011. Geterogennyye process v obogaschenii I metallurgii». – Karaganda : Himiko-metallurgicheskii institute im. Zh. Abisheva, 2011. – P. 15–17.
- 11 **Dyudkin, D. A., Kisilenko, V. V.** Proizvodstvo stali. T. 1. Procesy vyplavki, vnepechnoi obrabotki I nepreryvnoy razlivki. – Moscow : Teplotehnik, 2008. – 528 p.

Материал поступил в редакцию в 16.09.22.

***Р. А. Бегалиев¹, Шабенов К. К².**

^{1,2}«KSP Steel» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға түсті 16.09.22.

ҮЗДІКСІЗ ҚҰЙЫЛҒАН БОЛАТ ҚҰБЫР ДАЙЫНДАМАЛАРЫНЫҢ МАКРОҚҰРЫЛЫМЫН ЖАҚСARTУ

Жұмыста құйма Болаттың микролегирленген бормен құрылыстық қалыптасу процестері зерттелген.

Зерттеу үшін жұмыста 28хмр Болат таңдалды, ол кейіннен термиялық өңдеуден өтеді. Салыстырмалы балқыту үшін зерттеу кезінде химиялық құрамы жағынан жақын 30ХМА болаты пайдаланылды, бұл зерттеу кезінде көміртегі, хром және молибден сияқты химиялық элементтердің Болаттың құйылған құрылымын қалыптастыруға әсерін болдырмауға мүмкіндік берді.

Жұмыста СТО – 007–2009 ұйымдастыру стандарты бойынша дайындамалардың макроқұрылымын және ГОСТ 18895 бойынша оптикалық – эмиссиялық спектрометрияны бағалау әдістері қолданылды.

Болатты балқыту сыйымдылығы 60 тонна доғалы пеште (ДСП) бір шлақты процесспен, болатты шөміш-пеш агрегатында (АКП) және шөмішті вакууматорда (КВ) жетілдірумен жүзеге асырылды.

Эксперименттік жолмен үздіксіз құйылған дайындаманың макроқұрылымына бор болатының микролегациялануының оң әсері анықталды.

Бормен болатты микролегациялау процесінің орталық кеуектілік және осьтік химиялық гетерогенділік (сапаны шамамен екі есе жақсарту) сияқты үздіксіз құйылған құбырлы дайындаманың макроқұрылымының көрсеткіштеріне оң әсері анықталды, бұл кристалдану орталықтары болып табылатын бордың ұсақ дисперсті нитридтерінің пайда болуымен байланысты болуы мүмкін және бағаналы кристалдар аймағының және болат дәнінің мөлшерінің төмендеуіне әкеледі.

Жұмыстың екінші кезеңінде орталық кеуектіліктің дамуының құюдың технологиялық параметрлеріне тәуелділігінің математикалық моделі алынды (құю жылыдамдығы және сұйық болаттың температурасы).

Кілтті сөздер: Болат, үздіксіз құйылған дайындама, модификатор, бор, жіксіз құбыр.

***R. A. Begaliev¹, K. K. Shabenov².**

^{1,2}«KSP Steel» LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 16.09.22

IMPROVEMENT OF THE MACROSTRUCTURE OF STEEL PIPE CONTINUOUS CAST BLANKS

In this paper, the processes of structure formation of cast steel microalloyed with boron are studied.

For research in the work, steel 28XMP was chosen, which is subsequently subjected to heat treatment. For comparative melts in the study, steel 30XMA was used, which is similar in chemical composition, which made it possible to exclude the influence of such chemical elements as carbon, chromium and molybdenum on the formation of the cast steel structure in the study.

In the work, we used methods for evaluating the macrostructure of workpieces according to the organization standard STO-007-2009 and optical emission spectrometry according to GOST 18895.

Steel smelting was carried out in an arc furnace (EAF) with a capacity of 60 tons by a single-slag process with steel finishing on a ladle-furnace unit (LAF) and a ladle degasser (KV).

Experimentally revealed a positive effect of steel microalloying with boron on the macrostructure of a continuously cast billet.

A positive effect of the process of steel microalloying with boron on such indicators of the macrostructure of a continuously cast pipe billet as central porosity and axial chemical heterogeneity (improvement in quality by about two times) has been established, which may be associated with the formation of finely dispersed boron nitrides, which are crystallization centers and lead to a decrease in the zone of columnar crystals and grain size of steel.

At the second stage of the work, a mathematical model was obtained for the dependence of the development of central porosity on the technological parameters of casting (casting speed and liquid steel temperature).

Keywords: steel, continuously cast billet, modifier, boron, seamless pipe.

Теруге 16.09.22 ж. жіберілді. Басуға 30.09.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 11,05 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz