

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (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/UIQR5237>

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);
Кажибаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – 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

П. О. Быков¹, М. Ж. Тусупбекова², Д. Р. Абсолямова³, И. Э. Дейграф⁴

^{1,2,3,4}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛИ БАРИЙСОДЕРЖАЩИМИ МОДИФИКАТОРАМИ

В работе исследована технология модифицирования низколегированной стали борсодержащей порошковой проволокой «Insteel 1.4».

В экспериментах в качестве модификатора неметаллических включений использовали порошковую проволоку «Insteel 1.4» вместо СК30.

Присадку порошковой проволоки «Insteel 1.4» производили через кондуктор, расположенный на расстоянии 300–350 мм до уровня шлака в сталеразливочном ковше. Введение проволоки производилось с заданной скоростью от 90 до 120 м/мин.

Удельный расход порошковой проволоки «Insteel 1.4» составлял 0,8–1,0 кг/т. В случае недостаточного содержания кальция в металле, производили дополнительную присадку «Insteel 1.4», исходя из достигнутой степени усвоения данного материала.

Экспериментальные плавки показали, что применение барийсодержащей порошковой проволокой «Insteel 1.4» позволило снизить брак на опытных плавках на 1,66 % по сравнению с рядовыми плавками.

В непрерывнолитых заготовках снизилось содержание неметаллических включений: оксидов точечных на 22,4 %; силикатов недеформирующихся на 21,7 %; сульфидов на 16,7 %; хрупких силикатов на 5,9 %.

Исследование физико-механических показателей прокатанных труб, полученных из стали опытных плавки показало соответствие требованиям стандартов.

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

Введение

В Республике Казахстан производство стальных бесшовных труб нефтяного сортамента сосредоточено в ТОО «KSP Steel».

При производстве стальных бесшовных труб актуальным вопросом остается предотвращение образования брака, связанного с образованием сталеплавильной плены и раскатом данных неметаллических включений [1–4].

Применение для окончательного раскисления и модифицирования силикокальция не всегда решает данные проблемы, поэтому поиск и внедрение более эффективных модификаторов стали является актуальной задачей.

Практика сталеплавильного производства показывает, что стабильность и эффективность производства стали, подвергаемой внепечной обработке зависит прежде всего от высокоэффективных и относительно дешевых комплексных сплавов, позволяющих целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава и как следствие свойствами металлоизделий.

Применение только силикокальция и алюминия для раскисления и модифицирования стали ограничивает возможности сталеплавыльщиков [5, 6]. Повышенное содержание в ферросилиции ФС75 алюминия (до 3,0 %) затрудняет получение высококачественной стали с высокими эксплуатационными свойствами, поскольку остаточное содержание алюминия в них должно быть менее 0,005 %. Обусловлено это тем, что «строчки» высокоглиноземистых включений вызывают сдвиговые напряжения в матрице [5]. Высокое содержание алюминия в ферротитане (8–14 %) и ферросиликоцирконии (5-9 %) алюминотермического производства, относительно высокая их стоимость не позволяют применять эти ферросплавы для раскисления и микрولهгирования стали ответственного назначения.

Решение проблемы повышения качества литой и деформированной стали, снижения содержания высокоглиноземистых неметаллических включений (НВ) достигается применением комплексных сплавов, содержащих щелочноземельные (ЩЗЭ), редкоземельные (РЗЭ) и другие химически активные элементы.

Одним из активных РЗЭ является барий (Ba), который согласно ряда исследований [7–10] оказывает модифицирующее влияние на неметаллические включения, ускоряя их всплывание, механические свойства стали (предел усталости, ударная вязкость) и их изотропность заметно улучшаются, отмечается также благоприятное влияние Ca и Ba на микроструктуру низколегированной стали в состоянии после отжига.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась технология модифицирования низколегированной стали борсодержащей порошковой проволокой «Insteel 1.4».

Для экспериментальных исследований использовалась низколегированная сталь следующего химического состава (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав стали, %

C	Mn	Si	Cr, не более	Cu, не более	Mo, не более	Al	P, не более	S, не более
0,30-0,34	1,25-1,50	0,15-0,35	0,25	0,25	0,08	-	0,030	0,030

В работе использовали следующие методы исследования:

- оптико-эмиссионная спектрометрия по ГОСТ 18895 на оптико-эмиссионном спектрометре ДФС-500;
- макро- и микроструктурный анализы по ГОСТ 10243, ГОСТ 8233, СТО-002-2017, СТО-007-2015.

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

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 $\text{CaO}+\text{MgO}$ не менее 90 %, плавиковый шпат по ГОСТ 29220-91;
- раскислители, легирующие, модификаторы – ферросиликомарганец по ГОСТ 4756-91 (FeSiMn), ферросилиций по ГОСТ 1415-93 ($\text{FeSi}-65$), силикокальций СК30 по ГОСТ 4762-71 (для сравнительной плавки), ферромарганец ($\text{FeMn}-80$) по ГОСТ 4755 – 91, алюминий АВ – 87 ГОСТ 295-98 катанку алюминиевую ГОСТ 13843-78.

В экспериментах в качестве модификатора неметаллических включений использовали порошковую проволоку «Insteel 1.4» вместо СК30.

Присадку порошковой проволоки «Insteel 1.4» производили через кондуктор, расположенный на расстоянии 300–350 мм до уровня шлака в сталеразливочном ковше. Введение проволоки производилось с заданной скоростью от 90 до 120 м/мин.

При обработке металла на вакуумном дегазаторе, присадку порошковой проволоки «Insteel 1.4» производили после вакуумирования, с установкой кондуктора на аналогичном расстоянии до уровня шлака в сталеразливочном ковше. Введение проволоки производилось с заданной скоростью от 90 до 120 м/мин.

Удельный расход порошковой проволоки «Insteel 1.4» составлял 0,8–1,0 кг/т. В случае недостаточного содержания кальция в металле, производили дополнительную присадку «Insteel 1.4», исходя из достигнутой степени усвоения данного материала.

После присадки порошковой проволоки «Insteel 1.4» в металл производилась продувка металла аргонem без оголения зеркала металла («мягкая» продувка) в течение не менее 6 минут, после чего производился отбор пробы металла.

Разливку опытных плавok производили в штатном режиме на радиальной машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Во время разливки дополнительно производился отбор темплетов непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) на определение загрязненности стали неметаллическими включениями. Отбор темплетов производили в середине плавки с каждого ручья.

Прокат труб в штатном режиме согласно действующих технологических инструкций. Во время проката производили отбор образцов для исследования на наличие загрязненности стали неметаллическими включениями. Длина образца – не менее 150 мм.

В качестве сравнения была взята серия плавok той же марки стали, которая производилась перед серией опытных плавok.

Результаты и обсуждение

Зафиксированные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели по присадке материала и усвоению химических элементов, путем присадки барийсодержащей порошковой проволоки с наполнителем «Insteel 1.4»

Наименование плавки	Кол-во присаженой проволоки, м	% усвоения Si	% усвоения Са
Сравнительные плавки	78,75	32,73	11,54
Опытные плавки	134,00	38,48	13,23
Отклонение	55,25	5,76	-1,69

Данные по анализу загрязненности стали неметаллическими включениями приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Загрязненность стали неметаллическими включениями

Наименование плавки	ОТ	ОС	СП	СХ	СН	С	НА	НТ
Сравнительные плавки	1,63	0,00	0,07	0,67	1,53	1,20	0,00	0,00
Опытные плавки	1,27	0,00	0,07	0,63	1,20	1,00	0,00	0,00
Отклонения	-0,37	0,00	0,00	-0,04	-0,33	-0,20	0,00	0,00

ОТ- оксиды точечные; ОС – оксиды строчечные; СП – силикаты пластичные; СХ – силикаты хрупкие; СН – силикаты недеформирующиеся; С – сульфиды; НА – нитриды алюминия; НТ – нитриды точечные.

Во время проката труб из НЛЗ были отобраны образцы для проведения физико-механических испытаний. Результаты ФМИ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты физико-механических испытаний

Наименование плавки	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа		Предел текучести σ_T , МПа		Относительное удлинение δ , %		Ударный изгиб, Дж	
	норма	факт	норма	факт	норма	факт	норма	факт
Сравнительные	689	738,94	552-758	645,56	16,00	28,34	28,00	109,21
Опытные		753,19		656,94		28,10		105,31
Отклонение		14,25		11,39		-0,24		-3,90

Анализ показал следующие результаты:

1 В ходе производства НЛЗ расход проволоки увеличился на 0,43 кг/т годного, усвоение [Si] за счет применения проволоки «Insteel 1.4» увеличилось на 5,7 %, усвоение [Ca] увеличилось на 1,69 %.

2 Количество брака на опытных плавках ниже на 1,66 % по сравнению с рядовыми.

3 Исследования загрязненности стали опытных плавков неметаллическими включениями выявило:

- снижение содержания оксидов точечных на 22, 4 %;
- снижение силикатов недеформирующихся на 21,7 %;
- снижение сульфидов на 16,7 %;
- снижение содержания хрупких силикатов на 5,9 %.

4 Физико-механические показатели труб из стали опытных плавков соответствуют требованиям стандарта.

Выводы

1 В условиях действующего производства опробована технология модифицирования низколегированной стали барийсодержащей порошковой проволокой «Insteel 1.4».

2 Применение барийсодержащей порошковой проволокой «Insteel 1.4» позволило снизить брак на опытных плавках на 1,66 % по сравнению с рядовыми плавками.

3 В непрерывнолитых заготовках снизилось содержание неметаллических включений:

- оксидов точечных на 22,4 %;
- силикатов недеформирующихся на 21,7 %;
- сульфидов на 16,7 %;
- хрупких силикатов на 5,9 %.

4 Исследование физико-механических показателей прокатанных труб, полученных из стали опытных плавков соответствуют требованиям стандартов.

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 **Вишкарёв, А. Ф., Близиюков, С. А., Явойский, В. И.** Теоретические основы комплексного раскисления стали // Влияние комплексного раскисления на свойства сталей. Министерство черной металлургии СССР / Со. трудов. – М. : Металлургия, 1982. – С. 4.

6 **Ахметов, А. Б., Толымбеков, М. Ж., Берг, А. А., Чекимбаев, А. Ф., Огурцов, Е. А., Камылина, Л. Н., Кусаинова, Г. Д.** Исследование природы неметаллических включений в слитках спокойных марок стали // Сб. научн. тр. ХМИ. – Алматы, 2002. – С. 801–804.

7 **Голубцов, В. А., Дёмин, К. Ю., Дёмин, Ю. С. и др.** Использование комплексных барийсодержащих модификаторов для улучшения качества колёсной стали // Сталь, 2009. – №12. – С. 17–22.

8 **Скоробогатов, Ю. С., Быков, П. О., Алыбай, А. Ч., Бегалиев, Р. А.** Исследование процесса модифицирования стали барийсодержащими модификаторами // Материалы международной научной конференции «XVI Сатпаевские чтения» (Часть 2). – Павлодар : ПГУ имени С. Торайгырова, 2016. – С. 238–242.

9 **Григорович, К. В., Дёмин, К. Ю., Арсенкин, А. М. и др.** Перспективы применения барийсодержащих лигатур для раскисления и модифицирования транспортного металла // Металлы, 2011. – № 5. – С. 146–156.

10 **Рябчиков, И. В., Ахмадеев, А. Ю., Андреев, В. В.** Metallurgical methods of improvement of operating properties of Russian rails // Steel, 2011. – № 1. – С. 25–27.

REFERENCES

1 **Serzhanov, R. I., Bogomolov, A. V., Bykov, P. O., Yksan, Zh. M.** Povyshenie kachestva nepreryvnolityh zagotovok I termouprochnenogo sortovogo prokata / monografia pod obshey 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 katannyh pomolnyh sharov v usloviyakh elektrostaleplavilnogo proizvodstva Respubliki Kazakhstan : Monografia. – Pavlodar : PGU imeni S. Toraighyrov, 2018. – 163 p.

5 **Vishkarev, A. F., Bliznukov, S. A., Yavoiskii, V. I.** Teoreticheskie osnovy kompleksnogo raskisleniya stali // Vliyanie kompleksnogo raskisleniya na svoystva stali. Ministerstvo chernoy metallurgii SSSR / So. trudov. – Moscow : Metallurgia, 1982. – P. 4.

6 **Ahmetov, A. B., Tolymbekov, M. Zh., Berg, A. A., Chekimbaev, A. F., Ogurtsov, E. A., Kamylna, L. N., Kusainova, G. D.** Issledovanie prirody nemetallicheskih vkluchenii v slitkah spokojnyh marok stali // Sb. nauchn. tr. HMI. – Almaty, 2002. – P. 801–804.

7 **Golubtsov, V. A., Demin, K. U., Demin, U. S. i dr.** Ispolzovanie kompleksnyh bariisoderzhaschih modifikatorov dlya ulucheniya kachestva kolesnoy stali // Stal, 2009. – №12. – P. 17–22.

8 **Skorobogatov, U. S., Bykov, P. O., Alybai, A. Ch., Begaliev, R. A.** Issledovanie processa modifitsirovaniya stali bariisoderzhaschimi modifikatorami // Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii «XVI Satpaevskie chteniya» (Chast 2). – Pavlodar : PGU imeny S. Toraighyrov, 2016. – P. 238–242.

9 **Grogorovich, K. V., Demin, K. U., Arsenkin, A. M. i dr.** Perspektivy primeneniya bariisoderzhaschih ligature dlya raskisleniya I modifitsirovaniya transportnogo metalla // Metally, 2011. – № 5. – P. 146–156.

10 **Rybchikov, I. V., Ahmadeev, A. U., Andreev, V. V.** Metallurgical methods of improvement of operating properties of Russian rails // Stal, 2011. – № 1. – P. 25–27.

Материал поступил в редакцию 06.06.22.

П. О. Быков¹, М. Ж. Тусупбекова², Д. Р. Абсолямова³, И. Э. Дейграф⁴^{1,2,3,4}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 06.06.22 баспаға түсті.

БАРИЙ БАР МОДИФИКАТОРЛАР БОЛАТЫНЫҢ МОДИФИКАЦИЯСЫ

Жұмыста төмен қосындыланған болатты модификациялау технологиясы «Insteel 1.4» борқұрамды ұнтақты сыммен төмен қосындыланған болатты модификациялау технологиясы зерттелді.

Эксперименттерде СК30 орнына «Insteel 1.4» ұнтақ сымы металл емес қоспалардың модификаторы ретінде пайдаланылды.

«Insteel 1.4» ұнтақ сымының қоспасы болат құю шөмішіндегі қож деңгейіне дейін 300-350 мм қашықтықта орналасқан өткізгіш арқылы жасалды.

Сымды енгізу 90-нан 120 м/мин дейінгі жылдамдықпен жүргізілді. «Insteel 1.4» ұнтақты сымының меншікті шығыны 0,8–1,0 кг/т құрады, металлда кальций жеткіліксіз болған жағдайда, осы материалды игерудің қол жеткізілген дәрежесіне сүйене отырып, «Insteel 1.4» қосымша қоспасы өндірілді.

Эксперименттік балқыту «Insteel 1.4» құрамында барий бар ұнтақ сымын қолдану тәжірибелік балқытулардағы ақауды қатардағы балқытумен салыстырғанда 1,66 %-ға төмендетуге мүмкіндік бергенін көрсетті.

Үздіксіз құйылған дайындамаларда металл емес қосындылардың құрамы төмендеді: нүктелік оксидтер 22,4 %; деформацияланбайтын силикаттар 21,7 %; сульфидтер 16,7 %; сынгыш силикаттар 5,9 %.

Тәжірибелік балқымалардың болатынан алынған илектелген құбырлардың физикалық-механикалық көрсеткіштерін зерттеу стандарт талаптарына сәйкес келеді.

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

P. O. Bykov¹, M. Zh. Tussupbekova², D. R. Absolyamova³, I. E. Deygraf⁴^{1,2,3,4}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 06.06.22.

MODIFICATION OF STEEL WITH BARIUM-CONTAINING MODIFIERS

The technology of modification of low-alloy steel the technology of modification of low-alloy steel with boron-containing powder wire «Insteel 1.4» is investigated in the work.

In experiments, powder wire «Insteel 1.4» was used as a modifier of non-metallic inclusions instead of SK30.

The «Insteel 1.4» powder wire additive was produced through a conductor located at a distance of 300–350 mm to the slag level in a steel ladle. The introduction of the wire was carried out at a given speed from 90 to 120 m/min.

The specific consumption of the powder wire «Insteel 1.4» was 0.8–1.0 kg/t. In case of insufficient calcium content in the metal, an additional additive «Insteel 1.4» was produced, based on the achieved degree of assimilation of this material.

Experimental melting showed that the use of barium-containing powder wire «Insteel 1.4» allowed to reduce the marriage on experimental melting by 1.66 % compared with ordinary melting. The content of nonmetallic inclusions decreased in continuously cast blanks: point oxides by 22.4 %; non-deformable silicates by 21.7 %; sulfides by 16.7 %; brittle silicates by 5.9 %.

The study of physical and mechanical parameters of rolled pipes obtained from steel of experimental smelts meet the requirements of the standard.

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

Теруге 06.06.22 ж. жіберілді. Басуға 30.06.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

8,9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 12,4. Таралымы 300 дана.

Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3964

«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

<https://vestnik.tou.edu.kz/>

<http://stk.tou.edu.kz/>