

УДК 669.046.554

**Л.Ю. Назюта**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., e-mail: nazuta\_l\_u@pstu.edu**Л.С. Тихонюк**<sup>2</sup>, начальник технического управления**Ю.В. Хавалиц**<sup>1</sup>, мастер производственного обучения, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com**А.В. Цюцюра**<sup>2</sup>, ведущий инженер технологического отдела**О.Г. Исланкина**<sup>2</sup>, инженер конвертерного цеха, e-mail: islankina-og@rambler.ru<sup>1</sup>ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» (Мариуполь, Украина)<sup>2</sup>ЧАО ММКИ ООО «Метинвест» (Мариуполь, Украина)

## Опыт Мариупольского металлургического комбината им. Ильича по освоению борсодержащих конструкционных сталей

*Микролегирование стали бором в условиях Мариупольского металлургического комбината им. Ильича в период нестабильного экономического состояния Украины особенно актуально, так как ориентировано на внутренний рынок конструкционного металла, а также позволяет повысить качество экспортной продукции.*

*В Украине производство борсодержащих сталей сосредоточено на предприятиях ООО «Метинвест» и не превышает 2 % от общего выпуска продукции. Вместе с тем, украинские предприятия импортируют такие стали и, особенно, конструкционные для строительства и сельскохозяйственного машиностроения. Поэтому, увеличение производства и сортамента борсодержащей стали направлено на повышение качества и расширение рынка сбыта готовой продукции.*

*Микролегирование бором конструкционных сталей рядового сортамента используется крайне редко из-за стереотипа мнений о механизме воздействия бора на качественные показатели металла.*

*В работе определен оптимальный режим внепечной обработки с целью стабилизации качественных показателей готового металла. Проведен анализ степени усвоения основных ферросплавов и качества готовой продукции по данным статистической обработки плавов текущего производства.*

*Показано, что при выплавке среднеуглеродистых сталей общего назначения микролегирование бором в условиях Мариупольского металлургического комбината им. Ильича не гарантирует повышение качественных показателей металла, однако стабилизирует их свойства и позволяет при прочих равных условиях сократить расход алюминия на 8–10 %.*

*При выплавке стали 30MnB5 за счет микролегирования бором достигнуто снижение расхода основных раскислителей (марганца и алюминия на 0, 12 кг/т стали каждого).*

*Технология микролегирования низкоуглеродистой стали (08пс) в настоящее время уточняется.*

*Рекомендовано украинским металлургам увеличить объемы производства рядовых (массовых) борсодержащих сталей конструкционного сортамента.*

**Ключевые слова:** борсодержащая сталь, раскисление, модифицирование, микролегирование, степень усвоения.

**М**икролегирование бором считают одним из наиболее перспективных направлений повышения совокупности механических, технологических и эксплуатационных свойств металла. Это связано с механизмом влияния «свободного» бора или его соединений (карбиды и нитриды бора) на качественные показатели стали.

В зависимости от наличия оборудования, диапазон положительного влияния бора на свойства стали достаточно широк. В термически обработанных сталях за счет «свободного» бора наблюдается улучшение прокаливаемости и коррозионной стойкости, при контролируемой прокатке – стабилизация прочностных и пластических характеристик, а также хорошая

свариваемость. Микролегирование бором также позволяет снизить расход более дорогих легирующих элементов.

**Постановка проблемы.** За рубежом при производстве конструкционных низколегированных сталей бор применяют в качестве одной из наиболее часто используемых микролегирующих добавок. В некоторых странах объем производства таких сталей составляет более 40 %.

В Украине производство борсодержащих сталей сосредоточено на предприятиях ООО «Метинвест» и не превышает 2 % от общего выпуска продукции. Вместе с тем, украинские предприятия импортируют такие стали и, особенно, конструкционные для

строительства и сельскохозяйственного машиностроения. Поэтому, увеличение производства и сортамента борсодержащей стали направлено на повышение качества и расширение рынка сбыта готовой продукции.

На предприятиях, оборудованных современными средствами внепечной обработки – установками «ковш-печь» (УКП) и Vacuum Degassing (VD) (например, МК «Азовсталь») и отделениями для термической обработки металла, положительное влияние бора на качество низколегированной конструкционной стали связано с наличием «свободного» бора [1, 2].

При этом микролегирование бором конструкционных сталей рядового сортамента используется крайне редко из-за стереотипа мнений о механизме воздействия бора на качественные показатели металла.

Одна из причин низкой доли борсодержащих сталей в сортаменте отечественных предприятий – нестабильность механических свойств готовой продукции из-за высокой активности бора по отношению к другим элементам внедрения – кислороду, азоту, сере. Это особенно проявляется при выплавке низкоуглеродистых низкокремнистых конструкционных сталей.

**Анализ последних публикаций.** Оптимальным содержанием бора в конструкционных сталях считают  $1\text{--}3 \cdot 10^{-3}$  %. При более высоком содержании бора (например, более 0,01 %) за счет образования боридов железа ( $\text{Fe}_2\text{B}$  и  $\text{FeB}$ ) возможно ухудшение качества металла.

При этом основной задачей микролегирования бором является предотвращение окисления бора (обеспечение стабильной степени усвоения) и распределение азота между основными нитридообразующими элементами – алюминием, титаном и бором. В работе [3] предложена методика расчета «свободного» бора в стали в существующем диапазоне концентрации указанных элементов. Расчет дает относительно неплохие результаты.

Влияние бора на качественные показатели низколегированных сталей также связывают с образованием нитридов бора, которые имеют высокую температуру плавления ( $2730^\circ\text{C}$ ), а в углеродистой стали – с образованием карбидов бора, которые имеют не только высокую температуру плавления  $2345^\circ\text{C}$ , но и твердость. Карбиды бора относятся к очень прочным химическим соединениям и по твердости близки к алмазу.

Однако следует отметить, что нитриды указанных элементов в жидкой стали не образуются. Они выделяются в процессе кристаллизации металла. При этом температурный интервал их выделения различен. Поэтому, при производстве низколегированных сталей желательным совместным микролегированием бором и титаном, температурный интервал выделения нитридов которого значительно выше и составляет  $1400\text{--}1450^\circ\text{C}$  по сравнению с  $900\text{--}950^\circ\text{C}$  для нитридов бора. Нитриды алюминия образуются при температурах  $1200\text{--}1250^\circ\text{C}$  [4]. В условиях контролируемой прокатки на современных машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) этот факт имеет существенное влияние на структуру готового металла.

Данные о влиянии бора на качество низколегированной стали – противоречивы. В основном, это связано с влиянием бора на пластические свойства стали. Известно, что провал пластичности металла, как правило, наблюдается в интервале температур  $750\text{--}1050^\circ\text{C}$ .

В некоторых работах негативное влияние бора на высокотемпературную пластичность и, особенно низкоуглеродистой стали, связывают с образованием частиц нитрида бора [5]. Практический интерес представляет анализ качества низкоуглеродистой борсодержащей стали 08кп, 08Ю в условиях МК «Запорожсталь» [6]. По данным этого предприятия, микролегирование бором уменьшает предел текучести (в среднем на 8,8 %) и одновременно повышает прочностные характеристики металла (на 2,5–4,5 %).

Вместе с тем, по данным других источников [7–9], микролегирование бором приводит к измельчению первичного зерна аустенита (за счет очищения границ зерен и создания дополнительных центров кристаллизации).

В работе [8] показано положительное влияние бора на пластические и вытяжные характеристики стали 08Ю за счет формирования равноосного мелкого зерна феррита баллов 8–9 (ГОСТ 5639).

По данным [7], в отсутствие дополнительных нитридообразующих элементов, например, титана при производстве низкоуглеродистой катанки с содержанием углерода 0,07–0,08 % и марганца 1,8–2,0 % микролегирование бором при соотношении  $\text{B/N} = 0,8$  снижает эффект деформационного старения и способствует пластификации. К аналогичным результатам пришли и авторы работы [9].

При анализе эффективности использования бора при выплавке низколегированных сталей следует учитывать, что борсодержащие сырье и ферросплавы более доступны и менее энергоемко по сравнению с другими материалами, используемыми по указанному назначению.

**Цель работы.** Расширение сортамента борсодержащих сталей и определение оптимального режима внепечной обработки, обеспечивающего стабилизацию качественных показателей готового металла.

**Метод исследования.** Анализ степени усвоения основных ферросплавов и качества готовой продукции по данным статистической обработки плавов текущего производства.

**Изложение основного материала.** Отличительной особенностью ММК им. Ильича является отсутствие проведения операций термической обработки для горячего тонкого проката и ограниченная вариативность операций для толстого проката. В период исследований в конвертерном цехе комбината строительство агрегата «ковш-печь» (АКП) только началось. Это уменьшило долю высококачественного металла в сортаменте стали [10].

За период 2016–2018 гг. доля борсодержащих сталей в общем объеме выплавки составляла в среднем 1,41 %. Из них – 42,7 % конструкционных сталей общего назначения (Зсп – 22,6 %, А36 – 11,9 %, St-44-2 – 8,8 %), а также 12,5 % марганецсодержащей стали

30MnB5 (аналог 65Г), для с/х машиностроения, которая ранее импортировалась из других стран. Особый интерес представляет низкоуглеродистая низкокремнистая сталь 08 пс (24,1 % от общего объема борсодержащих сталей), проходящая термообработку в колпаковых печах цеха холодного проката (ЦХП).

Периодически микролегирование бором использовали при выплавке других марок стали. Например, трубной – 09Г2С, судостали – ДН32-40. Их доля в общем объеме – 16,4 %.

В табл. 1 представлен средний химический состав, назначение, стандарты и потребители наиболее востребованных борсодержащих сталей (ТОП – 5).

Выплавку стали производили в 160-т конвертерах согласно действующей технологической инструкции. На плавках использовали низкомарганцовистый чугу́н (950–970 кг/т) с температурой 1300–1345 °С; лом стальной углеродистый с расходом (185–202 кг/т).

На повалке металл содержал (%): не более 0,1 С, 0,08–0,09 Мп, 0,013–0,016 S и 0,010–0,013 Р. Содержание FeO в шлаке составляло 14–16 %, основность шлака – 3,4–3,8 единицы. Для стабилизации окисленности металла в период раскисления использовали уголь марки Антрацит семечко (АС) с расходом 1,1–1,2 кг/т стали. Температура металла на повалке – 1700 °С. При такой температуре равновесное содержание кислорода с углеродом должно составлять не менее 0,06–0,08 %. Это позволяло проводить операции раскисления и легирования металла в стальковше без использования химического подогрева.

Удельный расход раскислителей представлен в табл. 2. О степени усвоения элементов раскислителей судили по их удельному расходу из расчета на 0,01 % их усвоения металлом. Это позволило исключить влияние на этот показатель различных факторов, в том числе марок стали, состава металлошхты,

Таблица 1

**Характеристики наиболее востребованных конструкционных борсодержащих сталей**

1. Марка стали	3 сп	A36	St-44-2	30MnB5	08 пс
2. Назначение	Конструкционная сталь обычного качества			С/х машиностроение, толщина листа 2,5 мм, для деталей, прошедших закалку с отпуском	холоднокатаный рулон - колпаковые печи
	для несущих элементов сварных и не-сварных конструкций и деталей, работающих при положительных температурах	для производства проката, который используется для изготовления корпусов или других сварных конструкций судов и плавучих сооружений	для производства труб стальных сварных прецизионных		
3. Стандарты	Стан 1700 ТТ-227-13-2015	Стан 3000 ASTM	Стан 3000 DIN17100	Стан 1700 EN 10083-3	Стан 1700- - ЦХП ГОСТ 1050
4. Потребители	Украина	Страны ближнего Востока (Саудовская Аравия, Эмираты), Африка	Страны ближнего Востока (Иран, Ирак)	Украина	Украина, Россия
5. Содержание, %					
C	0,15	0,19	0,16	0,29	0,07
Mn	0,52	0,56	0,82	1,26	0,34
Si	0,20	0,20	0,20	0,22	0,02
N	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006
B	0,001	0,0010	0,0012	0,0013	0,0010
Al <sub>к.р.</sub>	0,025	0,027	0,031	0,027	0,029
Al <sub>общ</sub>	0,030	0,030	0,035	0,031	0,033
6. Расход бора					
кг/0,01 %	12,05	14,3	10,95	11,34	23,68
кг/т стали	0,010	0,011	0,011	0,01	0,016
7. Степень усвоения B, %	82,9	76,9	92,3	88,2	74,9

Примечание: Al<sub>к.р.</sub> – алюминий кислоторастворимый; Al<sub>общ</sub> – алюминий общий с учетом неметаллических включений

Таблиця 2

**Удельный расход элементов при раскислении борсодержащих сталей, кг/0,01 % (кг/т стали)**

Марка стали	Mn	Si	Al	B	Уголь AC
Конструкционные стали обычного качества					
Зсп	15,88 (5,0)	20,6 (3,0)	84,15 (1,73)	12,05 (0,010)	- (1,10)
A36	12,9 (4,42)	17,8 (2,65)	67,0 (1,39)	14,3 (0,011)	- (1,25)
St-44	15,26 (8,2)	17,1 (2,42)	65,4 (1,62)	11 (0,011)	- (0,94)
Конструкционная среднеуглеродистая сталь для деталей, прошедших термическую обработку					
30MnB5	14,81 (12,62)	15,92 (2,60)	59,8 (1,48)	11,34 (0,010)	- (1,77)
Конструкционная низкоуглеродистая сталь					
08пс	15,52 (2,63)	–	93,9 (1,96)	23,68 (0,016)	–

технологии разливки (серийность МНЛЗ) и др. Во избежание этого, при расчете стандартной степени усвоения бора (%) делали поправку на средний выход жидкой стали в данной серии плавов.

Микролегирование бором производили в конце раскисления металла в стальковше. Металл продували аргоном в течение 20 минут. В качестве борсодержащего ферросплава использовали кусковой ФБ20 с размером кусков 10–50 мм. Удельный расход бора был практически одинаков и составлял 0,01 кг/т стали.

Степень усвоения бора для сталей общего назначения составляла 77–92 % (Зсп – 83 %, А36 – 77 %, St-44-2 – 92 %). Для марганецсодержащей стали 30MnB5 – 88-92 %. Это достаточно высокие величины степени усвоения бора для кусковых ферросплавов.

Наиболее низкая степень усвоения бора отмечена для низкоуглеродистой низкокремнистой стали 08пс (64–75 %) Это объясняется более высокой окисленностью металла на повалке и, возможно, низким расходом или отсутствием присадок AC в период раскисления.

Согласно расчетам, часть бора в металле находится в виде нитридов бора, которые могут оказать влияние на качественные показатели металла. Часть бора находится в виде нитридов алюминия. Другие более сильные нитридообразующие элементы (Ti, Nb, Ca) из-за высокой стоимости не применялись.

Влияние бора на качественные показатели среднеуглеродистых конструкционных сталей изучены на

примере стали А36 и представлены в табл. 3. Были обработаны данные 200 плавов текущего производства.

Согласно анализу, существенного влияния на механические свойства стали А36 микролегирование бором не оказывает. Средние показатели качества исследуемого металла (предел текучести и предел сопротивления) находились в пределах точности эксперимента.

Положительным влиянием бора на механические свойства стали А36 следует считать меньший разброс значений каждого из показателей и большую стабильность их свойств. Возможно, это связано с расходом бора на образование нитридов. На опытном массиве плавов удельный расход алюминия и, особенно, содержание в готовом металле кислоторастворимого алюминия ( $Al_{кр}$ ) было на 8–10 % выше, чем на сравнительных плавках без микролегирования бором. При этом на сравнительном массиве плавов наблюдался более сильный разброс анализируемых параметров качества металла. Это объясняется нестабильностью содержания в нем кислоторастворимого алюминия ( $Al_{кр}$ ) (0,027–0,052 %) и толщины проката (8–20 мм).

В связи с этим было изучено влияние кислоторастворимого алюминия на механические свойства стали А36. Как следует из представленных данных, на плавках, микролегированных бором, при содержании  $Al_{кр}$  более 0,032 % качественные показатели металла резко снижаются (рисунок). Это является следствием более высокой активности алюминия по отношению к азоту.

Таблиця 3

**Механические свойства марки стали А36**

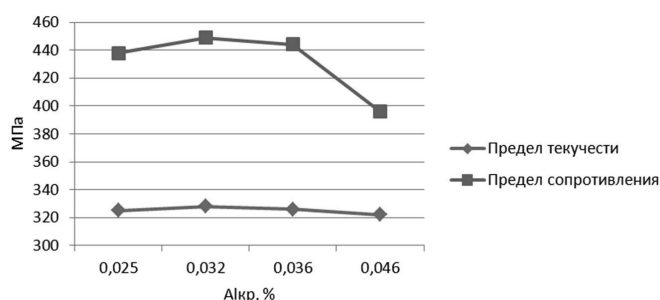
Показатель	Норма	Без микролеги-рования бором*	Микролегирова-ние бором
Предел текучести, мин., ReH, МПа	250	290–364/340	290–358/325
Предел прочности (временное сопротивление разрыву), мин., Rm, МПа	400–550	426–498/461	416–476/450
Относительное удлинение, мин., %	18	22–32/27	20–32/27

\*Числитель – минимум-максимум; знаменатель – среднее значение

**Механические свойства марки стали 30MnB5**

Показатель	Для деталей, прошедших термообработку		Фактически на стане 1700
	< 16	16–40	
Номинальная толщина, мм	< 16	16–40	2,5
Предел текучести, мин., ReH, МПа	800	650	421–494/464*
Предел прочности (временное сопротивление разрыву), мин., Rm, МПа	950–1150	800–950	529–709/661
Относительное удлинение, мин., %	13	13	20–26/28
Относительное сужение, мин., %	50	50	–
Работа удара KV при 20 °С [68 °F], мин., Дж	–	60	–

\*Числитель – колебание; знаменатель – среднее значение параметров



Влияние кислоторастворимого алюминия на предел текучести и предел сопротивления борсодержащей стали А36

Рекомендуемое содержание в конечном металле (Al<sub>кр</sub>) = 0,028–0,030 %. Контрольная выборка показателей качества металла при таком содержании (Al<sub>кр</sub>) показала значительное улучшение исследуемых параметров качества. Это может явиться предпосылкой снижения расхода алюминия, а также возможности использования для стабилизации показателей качества готового металла более сильных нитридообразующих элементов, например, титана или кальция.

Что касается стали 30MnB5, изделия из которой проходят термическую обработку у заказчика, то в результате высокого содержания марганца степень усвоения бора в период микролегирования была относительно стабильна и в среднем составила 92 % (84–94 %). Это объясняется высоким содержанием марганца в металле в период микролегирования (более чем в 2 раза больше, чем на плавках рядового сортамента) и использования в период раскисления угля АС в количестве 1,72 кг/т стали.

Механические свойства этой стали по данным стана 1700 представлены в табл. 4.

На плавках текущего производства за счет микролегирования бором достигнуто снижение расхода основных элементов раскислителей. Фактически расход марганца составил 12,68 по сравнению с нормативным расходом 12,80 кг/т стали; алюминия – 1,48 по сравнению с нормативным 1,6 кг/т стали, то есть фактическая экономия этих материалов составила около 0,12 кг/т стали для марганца и алюминия соответственно.

Что касается качественных, например, трубных марок стали, то при разработке оптимальных схем микролегирования экономический эффект от использования бора (при замене более дорогих микролегирующих элементов) будет значительно выше. Однако, это совсем другие исследования.

С ноября 2018 г. в конвертерном цехе ММК им. Ильича ведется масштабная реконструкция и модернизация основного технологического оборудования – ввод в эксплуатацию МНЛЗ № 4 и УКП. Это может стать предпосылкой дальнейшего совершенствования технологии раскисления и микролегирования, в том числе бором.

**Выводы**

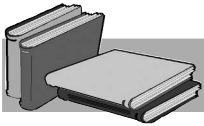
Микролегирование стали бором в период нестабильного экономического состояния Украины особенно актуально, так как ориентировано на внутренний рынок конструкционного металла, а также позволяет повысить качество экспортируемой продукции.

Микролегирование бором в условиях Мариупольского металлургического комбината им. Ильича (ММКИ) производят с целью оптимизации качественных характеристик (прочностных и пластических свойств) готового металла. Степень усвоения бора при использовании кускового ФБ20 с размером частиц 10–50 мм достаточно велика (77–92 %) и зависит от расхода основных раскислителей.

При выплавке среднеуглеродистых сталей общего назначения микролегирование бором не гарантирует повышение качественных показателей металла, однако стабилизирует их свойства и позволяет при прочих равных условиях сократить расход алюминия на 8–10 %.

При выплавке стали 30MnB5 за счет микролегирования бором достигнуто снижение расхода основных раскислителей (марганца и алюминия на 0,12 кг/т стали каждого).

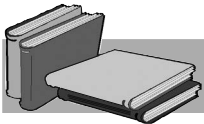
Технология микролегирования низкоуглеродистой стали (08пс) в настоящее время уточняется.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Назюта Л.Ю., Тихонюк Л.С., Костыря И.Н., Хавалиц Ю.В. Особенности микролегирования бором при выплавке низколегированных конструкционных сталей. *Металл и литье Украины*. 2018. №3–4. С. 18–27.
2. Назюта Л.Ю., Федорова Е.В., Хавалиц Ю.В. Влияние режима внепечной обработки на степень усвоения бора при выплавке низколегированных конструкционных сталей. *Вестник ПГТУ. Серия Технические науки*. 2017. Вып. 35. С. 25–31.
3. Потапов А.И. Исследование процессов микролегирования стали бором с целью совершенствования технологий борсодержащих сталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: МИСИС, 2013. 26 с.
4. Мазничевский А.Н., Гойхенберг Ю.Н., Сприкут Р.В. Влияние азота и нитридообразующих элементов на прокаливаемость борсодержащих сталей. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. 2017. Т. 17. № 2. С. 47–51.
5. Колбасников Н.Г., Матвеев М.А. Исследование влияния бора на высокотемпературную пластичность микролегированных сталей. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета*. 2016. № 1. С.129–135.
6. Гомон С.В., Набока В.И., Маднин В.С. Микролегирование низкоуглеродистой стали бором ОАО «Запорожсталь». *Сталь*. 2015. № 6. С. 15–18.
7. Парусов В.В., Парусов О.В., Чуйко И.Н., Парусов Э.В., Сагура Л.В. Деформационное старение борсодержащих сталей сварочного назначения. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр.* 2012. Вып. 64. С.18–20.
8. Маднин В.С., Сокур Ю.И., Камкина Л.В. Производство низкоуглеродистой стали 08Ю, микролегированной бором. *Теория и практика металлургии*. 2014. № 1–2. С. 13–16.
9. Жучков В.И. и др. Применение борсодержащих материалов в металлургии. *Электromеталлургия*. 2011. № 3. С. 25–27.
10. Назюта Л.Ю., Цуркан М.Л., Тихонюк Л.С. и др. Влияние бора на технологические свойства среднеуглеродистых конструкционных сталей рядового сортамента. *Вестник ПГТУ*. 2018. № 37. С. 22–28.

Надійшла 29.10.2019



## REFERENCES

1. Nazyuta, L. Yu., Tikhonyuk, L.S., Kostyrya, I.N., Khavalits, Yu.V. (2018). Features of microalloying with boron during smelting of low-alloy structural steels. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 3–4, pp. 18–27 [in Russian].
2. Nazyuta, L. Yu., Fedorova, E.V., Khavalits, Yu.V. (2017). The influence of the out-of-furnace treatment mode on the degree of boron assimilation during the smelting of low alloy structural steels. *Bulletin of the Perm State Technical University. Series Engineering*, iss. 35, pp. 25–31 [in Russian].
3. Potapov, A.I. (2013). Research of microalloying processes in steel with the aim of improving the technology of boron-containing steels. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow: MISIS, 26 p. [in Russian].
4. Maznichenovsky, A.N., Goichenberg, Yu.N., Sprikut, R.V. (2017). The effect of nitrogen and nitride-forming elements on the hardenability of boron-containing steels. *Bulletin of SUSU. Series "Metallurgy"*, vol. 17, no. 2, pp. 47–51 [in Russian].
5. Kolbasnikov, N.G., Matveev, M.A. (2016). Investigation of the effect of boron on the high temperature ductility of microalloyed steels. *Scientific and Technical Journal of St. Petersburg Polytechnic University*, no. 1, pp. 129–135 [in Russian].
6. Gomon, S.V., Naboka, V.I., Madinin, V.S. (2015). Microalloying of low-carbon steel with boron of Zaporizhstal OJSC. *Steel*, no. 6, pp. 15–18 [in Russian].
7. Parusov, V.V., Parusov, O.V., Chuiko, I.N., Parusov, E.V., Sagura, L.V. (2012). Deformation aging of boron-containing steels for welding purposes. *Construction. Materials science. Mechanical engineering: Collection of scientific works*, iss. 64, pp. 18–20 [in Russian].
8. Madinin, V.S., Sokur, Yu.I., Kamkina, L.V. (2014). Production of low-carbon steel 08Yu, microalloyed with boron. *Theory and practice of metallurgy*, no. 1–2, pp. 13–16 [in Russian].
9. Zhuchkov, V.I. et al. (2011). The use of boron-containing materials in metallurgy. *Electrometallurgy*, no. 3, pp. 25–27 [in Russian].
10. Nazyuta, L. Yu., Tsurkan, M.L., Tikhonyuk, L.S. et al. (2018). The effect of boron on the technological properties of medium-carbon structural steels of ordinary range. *Bulletin of the Perm State Technical University*, no. 37, pp. 22–28 [in Russian].

Received 29.10.2019

**Анотація**

**Л.Ю. Назюта**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., e-mail: nazuta\_l\_u@pstu.edu

**Л.С. Тихонюк**<sup>2</sup>, начальник технічного управління

**Ю.В. Хавалиць**<sup>1</sup>, майстер виробничого навчання,

e-mail: uliya1981havalic@gmail.com

**А.В. Цюцюра**<sup>2</sup>, провідний інженер технологічного відділу

**О.Г. Ісланкіна**<sup>2</sup>, інженер конвертерного цеху, e-mail: islankina-og@rambler.ru

<sup>1</sup>ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Маріуполь, Україна)

<sup>2</sup>ПрАТ ММКІ ТОВ «Метінвест» (Маріуполь, Україна)

## Досвід Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча щодо освоєння борвміщуючих конструкційних сталей

Мікролегування сталі бором в умовах Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча в період нестабільного економічного стану України особливо актуально, тому що орієнтоване на внутрішній ринок конструкційного металу, а також дозволяє підвищити якість експортної продукції.

В Україні виробництво борвміщуючих сталей зосереджене на підприємствах ТОВ «Метінвест» і не перевищує 2 % від загального випуску продукції. Разом з тим, українські підприємства імпортують такі сталі й, особливо, конструкційні для будівництва й сільськогосподарського машинобудування. Тому, збільшення виробництва й сортаменту борвміщуючих сталей спрямоване на підвищення якості й розширення ринку збуту готової продукції.

Мікролегування бором конструкційних сталей рядового сортаменту використовується вкрай рідко через стереотип думок про механізм впливу бору на якісні показники металу.

У роботі визначено оптимальний режим позапічної обробки з метою стабілізації якісних показників готового металу. Проведено аналіз ступеня засвоєння основних феросплавів і якості готової продукції за даними статистичної обробки плавок поточного виробництва.

Показано, що при виплавці середньовуглецевих сталей загального призначення мікролегування бором в умовах Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча не гарантує підвищення якісних показників металу, однак стабілізує їхні властивості й дозволяє за інших рівних умов скоротити витрату алюмінію на 8–10 %.

При виплавці сталі 30MnB5 за рахунок мікролегування бором досягнуто зниження витрати основних розкислювачів (марганцю й алюмінію на 0, 12 кг/т сталі кожного).

Технологія мікролегування низьковуглецевої сталі (08пс) на даний час уточнюється.

Рекомендовано українським металургам збільшити обсяги виробництва рядових (масових) борвміщуючих сталей конструкційного сортаменту.

**Ключові слова**

Борвміщуюча сталь, розкислення, модифікування, мікролегування, ступінь засвоєння.

**Summary**

**L.Yu. Nazyuta**<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engin.), Professor, e-mail: nazuta\_l\_u@pstu.edu

**L.S. Tikhonyuk**<sup>2</sup>, Head of technical management

**Yu.V. Khavalits**<sup>1</sup>, Master of industrial training, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com

**A.V. Tsyutsyura**<sup>2</sup>, Leading Engineer of technology department

**O.G. Islankina**<sup>2</sup>, Engineer of basic oxygen converter shop,  
e-mail: islankina-og@rambler.ru

<sup>1</sup>SHEI "Pryazovskyi State Technical University" (Mariupol, Ukraine)

<sup>2</sup>PJSC MMPI Metinvest LLC (Mariupol, Ukraine)

## The experience of the Mariupol Metallurgical Plant named of Ilyich for the development of boron-containing structural steels

*Microalloying of steel with boron in the conditions of Mariupol Metallurgical Plant named of Ilyich in a period of unstable economic condition of Ukraine is especially important, because it is focused on the domestic market of structural metal, and also improves the quality of export products.*

*In Ukraine, the production of boron-containing steels is concentrated at the enterprises of Metinvest LLC and does not exceed 2 % of the total output. At the same time, Ukrainian enterprises import such steels and, especially, structural ones for construction and agricultural engineering. Therefore, an increase in the production and assortment of boron-containing steel is aimed at improving the quality and expanding the market for finished products.*

*Microalloying with boron of structural steels of ordinary range is extremely rarely used due to the stereotype of opinions about the mechanism of the effect of boron on the quality indicators of the metal.*

*In the work, the optimal mode of out-of-furnace processing is determined in order to stabilize the quality indicators of the finished metal. The analysis of the degree of assimilation of the main ferroalloys and the quality of the finished product is carried out according to the statistical processing of the melts of the current production.*

*It is shown, that in the smelting of medium-carbon steels for general purposes, microalloying with boron in the conditions of the Mariupol Metallurgical Plant named of Ilyich does not guarantee an increase in the quality indicators of the metal, however, it stabilizes their properties and allows, other things being equal, to reduce aluminum consumption by 8–10 %.*

*In the smelting of 30MnB5 steel due to microalloying with boron, a reduction in the consumption of the main deoxidizers (manganese and aluminum by 0.12 kg/t of steel each) was achieved.*

*The microalloying technology of low-carbon steel (08nc) is currently being specified.*

*It was recommended to Ukrainian metallurgists to increase production volumes of ordinary (mass) boron-containing steels of structural assortment.*

---

**Keywords**

*Boron-containing steel, deoxidation, modification, microalloying, degree of assimilation.*