

**П. А. Плохих**, канд. техн. наук, доц.

**О. В. Носоченко**, д-р техн. наук, проф.

**М. А. Григорьева**, канд. техн. наук, доц.

**Ю. В. Хавалиц**, мастер пр-го обучения, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com

**А. А. Плохих**, студент

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

## **Исследование особенностей процесса обработки стали инертным газом в агрегате комплексной обработки стали непрерывной разливки (АКОС НР). Сообщение I**

*Целью настоящей работы является отработка оптимальной конструкции рафинировочной камеры и уточнение технологических параметров продувки металла аргонem с использованием новых дутьевых устройств, применительно к условиям производства непрерывнолитой стали в конвертерном цехе МК «Азовсталь» с применением АКОС НР.*

**Ключевые слова:** аргон, фурма, МНЛЗ, рафинировочная камера, АКОС НР, инертный газ, промковш.

**М**атериал и методика проведения исследования. Материалом исследований служили промышленные плавки стали марок 3 сп, 09Г2С, 17Г1СУ, 13Г1СУ, 10ХСНД, Е40, 10Г2БТ, АК-25, которые выплавляли в 350-тонных конвертерах по действующей технологической инструкции.

Пробы металла на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) отбирали одновременно из двух ручьев в виде поперечных темплетов и пальчиковых проб. Более подробно методика отбора проб описана в работе [1]. На МНЛЗ рафинированию аргонem подвергался металл только одного ручья, а сопоставление эффективности продувки с базовой технологией оценивали по степени удаления водорода и кислорода, снижению содержания неметаллических включений, изменению механических свойств готового проката. Прокатку металла опытных плавok осуществляли по ручьям и производили сопоставление механических свойств металла, отлитого с применением внешних средств контроля (ВСК) – продувки аргонem и без нее.

Пробы металла для определения содержания водорода отбирали из ложки или из кристаллизатора МНЛЗ кварцевыми трубками с последующей закалкой в воде и хранением в жидком азоте.

Содержание водорода в пробах определяли методом вакуум-нагрева на установках Бталина или плавлением на специализированном приборе фирмы «Бальцерс».

Содержание кислорода и азота анализировали на экскалографе «ЕА-1» фирмы «Бальцерс» с использованием печи и хроматографического окончания анализа, а также на газоанализаторе фирмы «Лесо».

Продувку стали аргонem в промежуточном ковше МНЛЗ осуществляли через стенку ковша.

*Изложение основного материала.* Опыт эксплуатации фурм для продувки металла аргонem в услови-

ях конвертерного цеха МК «Азовсталь» показал, что сопла фурм должны изготавливаться из огнеупорного материала, стойкость их должна соответствовать стойкости промежуточного ковша, они не должны заматываться в процессе эксплуатации. Наиболее полно перечисленным требованиям отвечают фурмы, изготовленные на экспериментальном заводе ЦНИИчермет имени И. П. Бардина из алюмосиликатного материала, содержащего 32–34 %  $Al_2O_3$ . Стойкость таких фурм составила 5–6 плавok и равнялась стойкости футеровки промковша. Фурмы позволяют изменять расход аргона во время продувки, заметалливание сопел при этом отсутствует.

В ходе проведения работы были проведены натуральные газодинамические испытания сопел с целью определения их характеристик, и разработаны рабочие чертежи установки фурм в футеровку промковша.

В настоящее время ЦНИИчерметом освоена технология изготовления сопел фурм для продувки из огнеупоров, содержащих до 70 %  $Al_2O_3$ .

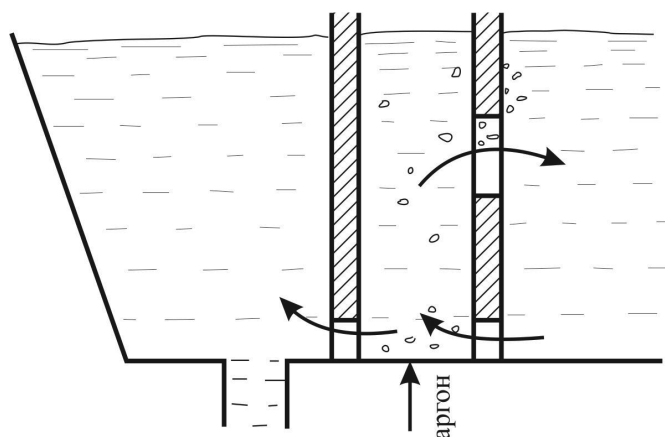
*Разработка оптимальной конструкции рафинировочной камеры АКОС НР.* Одной из основных проблем, возникающих в ходе реализации продувки металла аргонem в промковше, является решение вопроса эвакуации аргона из рафинировочной камеры. Необходим такой дутьевой режим, при котором вдуваемый в металл аргон не вызывал бы оголение металла и не перемешивал теплоизолирующую смесь в разливочной секции промковша.

Для решения данной задачи испытаны различные типы рафинировочных камер, позволяющие оптимизировать процесс эвакуации вдуваемого аргона.

При оценке эффективности работы камер исходили из двух факторов: удаления водорода и кислорода. При неудовлетворительной конструкции камеры и дутьевого режима происходит оголение металла, затягивание теплоизолирующей смеси в металл и

вследствие этого – возрастание общего содержания кислорода в стали. Напротив, при малых расходах аргона, степень удаления водорода снижалась и эффективность продувки падала.

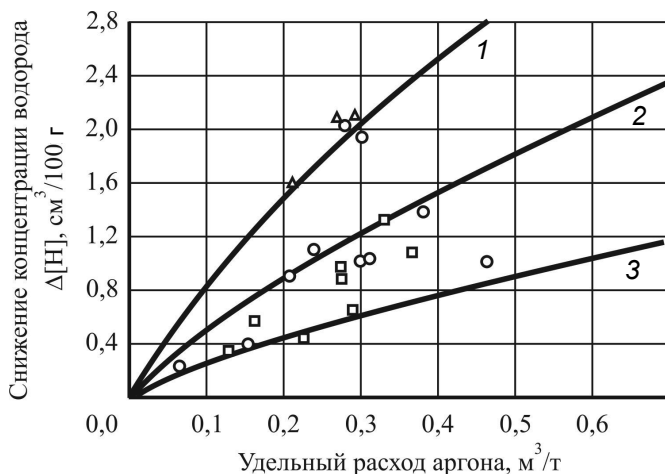
В результате промышленных исследований установлена оптимальная конструкция камеры (рис. 1). Эта камера позволяет достичь степени удаления водорода 25–40 % и при этом получать степень удаления кислорода 30–35 %.



**Рис. 1.** Оптимальная конструкция рафинировочной камеры для высокоскоростной продувки металла аргоном в проковше МНЛЗ

*Дутьевой режим процесса рафинирования металла аргоном в АКОС НР.* Для расчета необходимого на продувку количества аргона можно использовать уравнение Геллера [2]. Теоретические зависимости снижения содержания водорода от удельного расхода аргона приведены на рис. 2, из которых следует, что для снижения содержания водорода в металле с  $6 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  до  $4 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  необходим удельный расход аргона, равный  $0,57 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Следует отметить, что достигаемый в настоящее время удельный расход аргона при обработ-



**Рис. 2.** Влияние удельного расхода аргона на снижение содержания водорода в металле при высокоскоростной продувке аргоном в проковше: 1, 2, 3 – теоретические зависимости по данным [2] для исходного содержания водорода соответственно: 8; 6; 4  $\text{см}^3/100 \text{ г}$ ;  $\Delta$   $\square$  – практические результаты, полученные в ходе экспериментов, точки обозначают исходное содержание водорода соответственно: 8; 6; 4  $\text{см}^3/100 \text{ г}$

ке на установке доводки металла (УДМ) составляет  $0,05\text{--}0,10 \text{ м}^3/\text{т}$ , в условиях МК «Азовсталь» он и того меньше –  $0,028\text{--}0,085 \text{ м}^3/\text{т}$ .

В ходе экспериментов по продувке в проковше были достигнуты удельные расходы аргона, составляющие  $0,23\text{--}0,32 \text{ м}^3/\text{т}$ . Такие расходы аргона позволяют стабильно снижать содержание водорода на  $0,6\text{--}2,1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  в зависимости от его исходного содержания в металле перед обработкой.

Результаты исследований по снижению содержания водорода на промышленных плавках приведены на рис. 2. Следует отметить, что результаты промышленных экспериментов хорошо согласуются с теоретическими зависимостями, рассчитанными по уравнению Геллера. В результате проведенной работы можно сформулировать основные положения дутьевого режима в АКОС НР:

- продувка стали в АКОС НР осуществляется при разливе низколегированных и легированных марок стали;

- система подвода аргона в промежуточный ковш должна состоять из коллектора, оснащенного быстросъемными соединениями и размещенного на тележке промежуточного ковша, двух опускаемых аргонопроводов, двух дутьевых фурм, запорной арматуры;

- рафинировочные камеры, перегородки, опускаемые аргонопроводы и фурмы устанавливают в промежуточный ковш при изготовлении его футеровки;

- после установки промежуточного ковша на тележку МНЛЗ, опускаемые аргонопроводы с помощью быстросъемных соединений стыкуют с коллектором и проверяют работоспособность системы путем подачи аргона и визуального осмотра соединений;

- после разогрева футеровки промежуточного ковша перед подачей его под плавку, аргонопроводы подключают в систему подвода аргона под давлением  $0,15\text{--}0,3 \text{ МПа}$ . Верхняя граница давления аргона определяется началом оголения поверхности металла в зоне продувки или в зоне эвакуации аргона из камеры;

- при смене сталеразливочных ковшей давление аргона в системе снижается до  $0,10\text{--}0,15 \text{ МПа}$ . Общее время продувки при пониженном давлении не должно превышать 3-х минут;

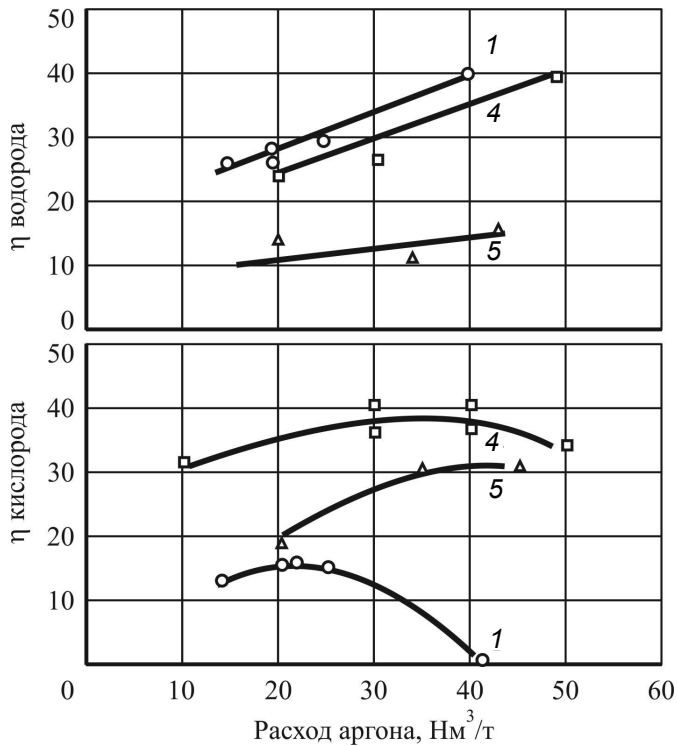
- при замене промежуточного ковша продувка аргоном прекращается при снижении уровня металла до  $400\text{--}500 \text{ мм}$  от боевой части ковша;

- после перевода промежуточного ковша в резервную позицию, производят отсоединение опускаемых аргонопроводов от коллектора.

*Влияние продувки на удаление газов.* Изучение влияния продувки металла аргоном на удаление газов в проковше (АКОС НР) производилось на промышленных плавках стали марок 3 сп, 09Г2С, 17Г1СУ, 13Г1СУ, 10ХСНД, Е40, 10Г2БТ, АК-25. Результаты экспериментов приведены на рис. 3.

Степень рафинирования, %:

$$\eta = \frac{[E]_H - [E]_K}{[E]_H} \cdot 100 \%$$



**Рис. 3.** Зависимость степени удаления водорода и кислорода из металла при различных расходах аргона на продувку (цифры у кривых – тип рафинировочной камеры)

*Исследование влияния продувки металла аргоном на удаление неметаллических включений.* Исследование удаления неметаллических включений при продувке металла аргоном в промковше проводилось на плавках стали марок 3 сп, 13Г1СУ, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2БТ на образцах, вырезанных из непрерывнолитых слябов и листов.

Неметаллические включения, присутствующие в прокате исследованных плавков, состоят из следую-

щих представителей. Кислородные включения, как правило, присутствуют в виде отдельных зерен глобулярной и неправильной формы, однородных или с выделением фазы, а также строчек из отдельных зерен или хрупкоразрушенных включений.

Сульфиды – как тонкие, вытянутые вдоль направления прокатки, так и в виде оболочки вокруг кислородных включений. Встречаются единичные мелкие нитриды титана.

В плавках, выплавленных с применением продувки металла аргоном, количество оксидных включений меньше, отдельные зерна и строчки их представляют собой в основном алюминаты кальция, часто вокруг алюминатов кальция располагается сульфидная оболочка состава (Ca, Mn)S.

В табл. 1 представлены сравнительные данные по содержанию кислорода в прокате на опытных и сравнительных слябах одной и той же плавки. Из табл. 1 видно, что продувка аргоном в промковше приводит к уменьшению содержания кислородных включений и их размеров.

*Исследование качества металла, обработанного с применением продувки аргоном в АКЭС НР.* Макроструктура непрерывнолитых слябов плавков, подвергнутых продувке аргоном в промковше МНЛЗ, характеризуется большой протяженностью осевой зоны равноосных кристаллов, а также меньшей пораженностью осевыми трещинами (табл. 2). Это связано с более низкой температурой металла, разливаемого после продувки. Замеры температуры металла до и после рафинировочной камеры промковша подтверждают, что металл, прошедший камеру, имеет температуру на 10–15 °С ниже, чем металл не прошедший обработку.

Оценка уровня механических свойств проводилась по результатам первичных и сдаточных испытаний и удовлетворяла требованиям нормативно-технической документации.

Таблица 1

**Содержание кислорода, кислородных включений и распределение их по размерным группам**

Марка стали	Содержание кислорода, %	% площади, занятой кислородными включениями	Количество включений, шт. % в размерных группах, мкм				
			2	2–4	4–8	8–16	16–32
3 сп	0,0011	0,0045	149	32	2	–	–
	0,0017	0,0060	130	40	15	–	–*)
3 сп	0,0031	0,0054	143	41	7	–	–**)
	0,0042	0,0083	193	61	19	–	–
10ХСНД	0,0027	0,0045	114	24	4	–	–
	0,0055	0,0133*	138	71	39	–	–***)
09Г2С	0,0030	0,0073	104	34	33	–	–
	0,0045	0,0145	94	50	54	7	–
10Г2БТ	0,0041	0,0106	89	50	47	–	–
	0,0052	0,0139	99	70	55	2	–***)

*Примечание:* 1. Числитель – продувка аргоном в промковше, знаменатель – без продувки. 2. Встречаются строчки хрупкоразрушенных включений длиной: \*) до 40 мкм; \*\*) до 150 мкм; \*\*\*) до 60 мкм

## Сопоставление макроструктуры поперечных темплетов слябов, разлитых с продувкой аргоном (а) и по обычной технологии (б)

Марка стали	Технология	Осевая химическая неоднородность	Точечная неоднородность	Осевая рыхлость	Осевая трещина	Трещина по широкой грани
09Г2С	а	2,0	0,0	1,5	0,0	0,0
	б	2,5	2,5	1,5	0,0	1,0
Е40	а	1,0	0,0	2,0	0,0	0,5
	б	1,5	0,5	2,0	0,0	1,5

В табл. 3 приведены данные механических испытаний стали различных марок, прошедших продувку в промковше.

Как видно из табл. 3, при практически одинаковых характеристиках прочности у металла, прошедшего продувку, ударная вязкость несколько выше. Сталь практически всех марок толщин проката, выплавленная с применением новой технологии, имеет более высокие показатели пластичности, что объясняется более низким содержанием в стали газов и неметаллических включений. У стали 3 сп  $\sigma_b$  возросла на 5–8 МПа,  $\sigma_T$  – на 0,10 МПа, относительное удлинение на 0,5 %. Особо заметно улучшение механических свойств стали 10ХСНД, где  $\sigma_b$  возросла на 5–15 МПа,  $\sigma_T$  – на 18–20 МПа, а относительное удлинение на 0,5 %, отмечается некоторое увеличение ударной вязкости. Применение продувки в промковше способствует улучшению механических свойств стали 10Г2БТ. Повышение

чистоты металла в результате новой технологии, по предварительным данным, снижает отбраковку по УЗК контролю.

### Выводы

Опробована в промышленных условиях технология непрерывного рафинирования стали путем обработки инертным газом в промежуточном ковше емкостью 43 т, применительно к АКОС НР.

Применение новой технологии позволило получить степень удаления водорода 25–40 %, кислорода 30–35 % и неметаллических включений (оксидов) 30–35 %.

Предложена оптимальная конструкция рафинировочной камеры применительно к промковшу емкостью 43 т.

Проведены в промышленных условиях оптимальные параметры дутьевого режима. Уточнен

Таблица 3

## Сопоставление механических свойств стали, выплавленной по обычной технологии (1) и с применением продувки аргоном (2)

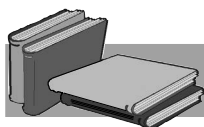
Марка стали	Технология	Количество испытаний	Толщина, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	%	Ударная вязкость, МДж/м <sup>2</sup>			УЗК, %
							после старения	– 40 °С	– 20 °С	
3 сп	1	2	18	442	282	29,5	–	–	–	–
3 сп	2	2	18	450	282	30,0	–	–	–	–
3 сп	1	2	16	500	320	26,5	–	–	–	–
3 сп	2	2	16	505	330	26,5	–	–	–	–
3 сп	1	4	22	482	292	25,0	–	–	–	–
3 сп	2	4	22	482	292	25,0	–	–	–	–
09Г2С	1	2	14	520	375	29,0	1,3	–	1,01	–
09Г2С	2	2	14	527	375	30,7	1,3	–	1,26	–
09Г2С	1	12	32	543	370	28,0	1,3	1,32	–	–
09Г2С	2	6	32	543	365	27,2	1,4	1,36	–	–
09Г2С	1	2	16	510	365	29,5	–	0,50	–	–
09Г2С	2	2	16	510	375	29,5	–	0,66	–	–
09Г2С	1	2	40	520	365	29,5	–	0,88	–	–
09Г2С	2	2	40	520	375	30,5	–	0,99	–	–
10ХСНД	1	2	16	615	475	26,0	1,34	1,00	–	–
10ХСНД	2	2	16	620	495	25,6	1,39	1,05	–	–
10ХСНД	1	2	14	505	380	31,5	1,75	1,58	–	–
10ХСНД	2	2	14	520	402	31,0	1,75	1,60	–	–
10Г2БТ	1	6	15,9	610	555	22,2	–	1,10*	1,22**	2,0
10Г2БТ	2	3	15,9	620	560	23,6	–	1,15*	1,24**	0

Примечание: \*KCV – 15; \*\*KCU – 60; УЗК – ультразвуковой контроль

оптимальный расход аргона на продувку, составляющий – 0,23–0,32 м<sup>3</sup>/т разливаемой стали.

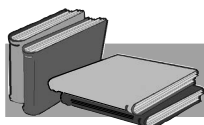
Новая технология рафинирования полностью очищает металл от неметаллических включений, превышающих размер, равный и более 16 мкм, улучшает макроструктуру слябов и повышает показатели механических свойств готового проката.

Разработанная технология может эффективно использоваться как в составе АКОС НР, так и в качестве самостоятельного способа рафинирования стали при непрерывной разливке.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет о НИР № 01880047879. Интенсифицировать внепечную обработку стали за счет применения фурм с оптимальными газодинамическими параметрами. – Москва, 1989.
2. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. – М.: «Металлургия», 1973. – С. 249.
3. Тэн Э. Б. Рафинирование металлургических расплавов фильтрованием: Бюл.: НТИ // Черная металлургия. – 1991. – № 3 (1103). – С. 63–65.



## REFERENCES

1. Otchet o NIR no. 01880047879. Intensifitsirovat' vnepechnuiu obrabotku stali za schet primeneniia furm s optimal'nymi gazodinamicheskimi parametrami [*Intensify the out-of-furnace treatment of steel by using tuyeres with optimal gas-dynamic parameters*]. Moscow, 1989 [in Russian].
2. Kniuppel' G. (1973). Raskislenie i vakuumnaia obrabotka stali [*Deoxidation and vacuum treatment of steel*]. Moscow: Metallurgiya, P. 249 [in Russian].
3. Ten E. B. (1991). Rafinirovanie metallurgicheskikh rasplavov fil'trovaniem: Biul.: NTI [*Refining of metallurgical melts by filtration: Bull.: NTI*]. Chernaia metallurgiya, no. 3 (1103), pp. 63–65 [in Russian].

### Анотація

*Плохих П. А., Носоченко О. В., Григор'єва М. О., Хвалиць Ю. В., Плохих А. А.*  
Дослідження особливостей процесу обробки сталі інертним газом в агрегаті комплексної обробки сталі безперервної розливки (АКОС БР).  
Повідомлення I

Метою цієї роботи є відпрацювання оптимальної конструкції рафінувальної камери і уточнення технологічних параметрів продувки металу аргоном з використанням нових дуттєвих пристроїв, з урахуванням умов виробництва безперервнолитої сталі в конвертерному цеху МК «Азовсталь» із застосуванням АКОС БР.

### Ключові слова

Аргон, фурма, МБЛЗ, рафінувальна камера, АКОС БР, інертний газ, промківш.

### Summary

*Plokhikh P., Nosochenko O., Grigor'eva M., Khavalits Yu., Plokhikh A.*  
Investigation of characteristics of the process of steel processing with an inert gas in the aggregate of complex processing of steel at continuous casting (ACPS CC). Message I

The purpose of this work is to test the optimal design of the refining chamber and to clarify the technological parameters of purging the metal with argon with the use of new blowing devices, taking into account the conditions of the production of continuous steel in the converter shop of Azovstal Iron & Steel Works with the use of ACPS CC.

### Keywords

Argon, lance, CCM, refining chamber, ACPS CC, inert gas, tundish.

Поступила 11.10.17