

А.А. Троянский /д.т.н./, В.И. Заика /к.т.н./, В.Л. Жук /к.т.н./, С.Н. Ратиев  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

## ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМНОГО РАСКИСЛЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

*В заводских условиях проведены опытно-промышленные исследования по проведению вакуум-углеродного раскисления полупродукта в камерном вакууматоре без продувки кислородом с последующим его доведением до необходимого состава на установке ковши-печь. В результате проведенной работы определены показатели качественного контроля проката, которые свидетельствуют о нецелесообразности данной схемы производства ни по экономическим, ни по качественным параметрам металла, в отличие от принятой схемы выплавки стали в дуговой печи и дальнейшей ее обработки на установке ковши-печь.*

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, установка ковши-печь, вакуум-углеродное раскисление, качество металла, обезуглероживание.

### Постановка проблемы

Наличие на металлургических предприятиях разнообразных устройств и методов внепечной обработки предполагает их оптимальное сочетание в технологической линии производства различных марок сталей для получения требуемого качества металла.

В этой связи сотрудниками одного из металлургических предприятий Донбасса и ДонНТУ выполнены опытно-промышленные исследования по анализу эффективности вакуум-углеродного раскисления стали для ее обезуглероживания. Этот способ широко распространен в металлургии и позволяет снижать в металле содержание углерода, газов и неметаллических включений при сравнительно небольших капитальных затратах.

Однако вакуумирование нераскисленной и полураскисленной стали не гарантирует получение низкого содержания газов в готовой продукции, поскольку после окончания вакуумной обработки проводится нагрев металла, его раскисление и легирование, науглероживание, десульфурация [1,2].

### Анализ последних исследований и публикаций

Как показывает анализ научных работ, посвященных данной теме [3,4], большое внимание уделяется интенсивности кипения ванны для создания необходимых кинетических условий протекания реакции взаимодействия углерода с кислородом, выделения растворенного водорода и азота. С наличием в раскисленной стали поверхностно-активных веществ, последняя практически не подвергается обезуглероживанию, в то время как вакуумирование нераскисленной и

частично раскисленной стали позволяет наиболее полно реализовать преимущества углерода как раскислителя [5,6].

### Цель (задачи) исследования

Задачей настоящей работы является анализ следующих показателей сталей, полученных по разным технологическим схемам: содержание углерода и газов; загрязненность металла неметаллическими включениями и их балл; механические свойства – с целью выявления их экономической целесообразности, а также оценки качества металла.

### Основной материал исследования

В технологической схеме производства были задействованы: дуговая печь переменного тока ДСП 120 с эркерным выпуском металла и системой продувки расплава инертным газом (ДСП); установка внепечной обработки ковши-печь (УКП); установка камерного вакуумирования с системой продувки аргоном (процесс VD). Выплавляли стали 20 и 45, которые разливали на сортовой радиальной МНЛЗ с защитой струи металла от вторичного окисления на пути от сталь-ковша до кристаллизатора.

Выплавку, внепечную обработку и разливку осуществляли в соответствии с заводскими технологическими инструкциями.

Основная технологическая схема производства стали на предприятии предусматривает выплавку полупродукта в ДСП, доводку его до конечного химического состава на УКП (схема ДСП-УКП) и разливку на сортовой МНЛЗ. Для ряда марок сталей, с целью дополнительного рафинирования, в технологическую схему на заключительной стадии внепечной обработки

включают вакуумирование (схема ДСП-УКП-VD). Обе эти схемы рассматривали как сравнительные.

Учитывая возможное расширение сортамента производимой на заводе стали, в частности с пониженным содержанием углерода, рассмотрели целесообразность применения для этих целей технологической схемы ДСП-VD-УКП (опытная схема). По каждой технологической схеме выплавляли не менее 5 плавков.

Перед выпуском металла из ДСП производили по два последовательных замера активности кислорода в металле и определяли среднее ее значение. Во время выпуска металла в ковш присаживали вторичный алюминий из расчета 1 кг на каждые  $10^{-3}$  % превышения активности кислорода содержанием более 0,04 % и ферромарганец – из расчета получения среднего его содержания в марке стали, а также 100 кг извести.

Ковши с металлом опытных плавков перед обработкой на УКП передавали на вакууматор. Затем в полупродукт при необходимости присаживали углеродсодержащий материал из расчета получения в нем содержания углерода не менее 0,10 %, с учетом остаточного углерода и углерода, вносимого ферромарганцем. В процессе вакуумирования расплав перемешивали аргоном с суммарным расходом его от 500 до 700 нл/мин, после замера активности кислорода металл пе-

редавали на УКП, где сталь подогревали и раскисляли, корректировали и усредняли ее температуру и химический состав, а также рафинировали и модифицировали.

Установили, что проведение вакуум-углеродного раскисления железоуглеродистого полупродукта для стали 20 и стали 45 перед его доводкой на установке ковш-печь позволяет снизить содержание углерода в нем на 0,03...0,04 %.

Выплавка и внепечная обработка металла по всем рассматриваемым технологическим схемам обеспечивает довольно низкое содержание газов в прокате (табл. 1). Однако содержание их в металле опытных плавков выше, чем в серийном: водорода – на 30...40 %, азота – на 10...12 %, кислорода – на 30...35 %. Связано это, вероятно, с нагревом металла электрическими дугами и окончательными операциями доводки металла до конечного состава в УКП.

Качество макроструктуры металла (табл. 2) опытных и сравнительных плавков находится примерно на одном уровне.

Загрязненность проката опытных плавков (по среднему баллу в соответствии с ГОСТ 1778 метод Ш6) строчечными оксидами и хрупкими силикатами на 0,4...0,6 балла выше, чем проката сравнительных плавков. Загрязненность же сульфидами опытных плавков ниже на 0,3 балла, чем в прокате сравнительных плавков (табл. 3).

Табл. 1. Содержание газов в готовом прокате опытных и сравнительных плавков сталей 20 и 45\*

Марка стали	Технология	Массовая доля газов в прокате, % · 10 <sup>-4</sup>		
		H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
20	ДСП-VD-ПК	1,42	0,010	0,38
20	ДСП-ПК-VD	0,85	0,008	0,29
20	ДСП-ПК	0,95	0,009	0,32
45	ДСП-VD-ПК	1,70	0,015	0,18
45	ДСП-ПК-VD	1,00	0,012	0,12
45	ДСП-ПК	1,10	0,013	0,15

**Примечание:** \* – в таблице приведены средние значения по пяти плавкам каждой технологической схемы.

Табл. 2. Результаты макроконтроля проката опытных и сравнительных плавков сталей 20 и 45\*

Марка стали	Технология	Оценка макроструктуры, балл			
		центральная пористость	точечная неоднородность	ликвационный квадрат	подкорковые пузыри
20	ДСП-VD-ПК	0,62	1,04	0,45	0
20	ДСП-ПК-VD	0,67	1,00	0,50	0
20	ДСП-ПК	0,65	1,00	0,52	0
45	ДСП-VD-ПК	0,00	1,00	1,50	0
45	ДСП-ПК-VD	0,30	1,14	1,42	0
45	ДСП-ПК	0,00	1,00	1,45	0

**Примечание:** \* – в аблице приведены средние значения по пяти плавкам каждой технологической схемы.

Табл. 3. Загрязненность проката опытных и сравнительных плавков неметаллическими включениями (НВ)\*

Варианты выплавки	Оценка загрязненности НВ	Загрязненность проката неметаллическими включениями в соответствии с ТУ 14-1-1529-93, балл				
		сульфиды	оксиды строчечные	оксиды точечные	силикаты хрупкие	силикаты пластинные
Норма (средний балл)		не более				
		3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Норма (максим. балл)		не более				
		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Сталь 20						
ДСП-VD-ПК	максим.	2,0	4,0	0	4,0	0
	средний	1,8	2,6	0	3,2	0
ДСП-ПК-VD	максим.	2,5	2,3	0	3,7	0
	средний	2,1	2,0	0	2,7	0
ДСП-ПК	максим.	2,8	2,5	0	3,8	0
	средний	2,4	2,1	0	2,9	0
Сталь 45						
ДСП-VD-ПК	максим.	2,5	3,0	0	3,2	0
	средний	2,0	2,1	0	2,1	0
ДСП-ПК-VD	максим.	2,7	2,0	0	2,5	0
	средний	2,4	1,6	0	1,8	0
ДСП-ПК	максим.	4,0	0,5	0	1,3	0
	средний	3,4	0,5	0	0,5	0

**Примечание:** \* – в таблице приведены средние значения по пяти плавкам каждой технологической схемы.

Табл. 4. Результаты механических испытаний проката опытных и сравнительных плавков\*

Варианты выплавки	$\sigma_s$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\varphi$ , %
Норма для стали 20 по ТУ 14-1-1529-93	410-550	267	24	45
ДСП-VD-ПК	501,6	335	30,7	61,7
ДСП-ПК-VD	500,0	331,7	29,3	62,0
ДСП-ПК	502,0	332,5	30,0	61,5
Норма для стали 45 по ТУ 14-1-1529-93	600	355	16	40
ДСП-VD-ПК	680,0	425,0	23,5	49,0
ДСП-ПК-VD	672,6	428,8	22,5	48,2
ДСП-ПК	682,0	110,0	20,0	47,0

**Примечание:** \* – в таблице приведены средние значения механических свойств по пяти плавкам каждой технологической схемы.

Механические свойства опытного и сравнительного металла (табл. 4) находятся приблизительно на одном уровне и по абсолютной величине удовлетворяют нормативным требованиям.

#### Выводы

Выполненные на предприятии опытно-промышленные исследования свидетельствуют, что камерное вакуумирование в технологической цепочке ДСП-VD-УКП целесообразно в основном при производстве стали с низким содержанием углерода.

Выплавка же конструкционных сталей по

трехэтапной схеме в условиях данного предприятия себя не оправдывает ни по экономическим, ни по качественным параметрам.

#### Список литературы

1. Коновалов, Ю.В. *Металлургия: учебное пособие: в 3 кн. К.1. Производство чугуна, железа, стали и ферросплавов* / Ю.В. Коновалов, А.А. Троянский, С.Н. Тимошенко. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2011. – 431 с.
2. Рошин, В.Е. *Электрометаллургия и металлургия стали: учебник* / В.Е. Рошин, А.В. Рошин. – Челябинск: Издательский центр

- ЮУрГУ, 2013. – 572 с.
3. Тулуевский, Ю.Н. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора: монография / Ю.Н. Тулуевский, И.Ю. Зинуров. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 347 с.
  4. Senberger, J. Contribution to Deoxidation of Austenitic Steels in a Vacuum Induction Furnace with Carbon // Archives of foundry engineering. – 2015. – Vol.15. – P. 105-109.
  5. Tetsuya Watanabe. Deoxidation of Stainless Steel by Carbon in Laboratory-Scale Vacuum Induction Melting // Journal of Vacuum Science and Technology. – 1970. – №7. – P. 144.
  6. Kloppers, C. Primary de-oxidation of Basic Oxygen Furnace steel by means of carbon / C. Kloppers, T. Fedotova // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2001. – P. 321-328.

**A.A. Troyansky /Dr. Sci. (Eng.), V.I. Zaika /Cand. Sci. (Eng.),  
V.L.Zhuk /Cand. Sci. (Eng.), S.N. Ratiev**  
Donetsk National Technical University (Donetsk)

### FEATURES OF THE CARBON STEEL VACUUM DEOXIDATION

**Background.** One of Donbass metallurgical plants needed steel smelting with very low content of carbon and impurities affecting the quality of the metal. In this regard, pilot studies conducted on vacuum-carbon deoxidation of the semi-product obtained in an AC arc furnace, which allowed meeting the specified requirements.

**Materials and/or methods.** The material for the study was steel 20 and 45, for which a semi-product smelted in an arc furnace with subsequent refining of the metal to the required composition and the required quality at the ladle-furnace unit and further steel casting on the varietal CCM. Since the non-oxidized and semi-oxidized metal subjected to the optimal deoxidation and decarburization, along with this scheme of steel production, after melting the semi-product subjected to vacuum-carbon deoxidation on a vacuum installation of a chamber type without oxygen blowing (experimental scheme). In addition, vacuuming of metal carried out after its out-of-furnace treatment on the ladle-furnace unit.

**Results.** Found that the vacuum-carbon deoxidation of the semi-product can reduce its carbon content by 0.03...0.04 %, reduce the content of gases and non-metallic inclusions to the required level. At the same time, their content in the experimental metal is higher than in the serial one: hydrogen – by 30...40 %, nitrogen – by 10...12 %, oxygen – by 30...35 %, which is apparently caused by the heating of the metal by electric arcs and the operations of metal finishing to the final composition on the ladle-furnace unit.

**Conclusion.** The studies carried out at the enterprise shown that chamber heating is advisable in the production of steel with low carbon content since the smelting of other steel grades does not justify itself either economically or in quality.

**Keywords:** arc steel furnace, ladle-furnace unit, vacuum-carbon deoxidation, metal quality, decarburization.

#### Сведения об авторах

##### **А.А. Троянский**

SPIN-код: 5708-7912  
Телефон: +380 (71) 301-98-60  
Эл. почта: taa@donntu.org

##### **В.Л. Жук**

Телефон: +380 (71) 363-74-69  
Эл. почта: emkaf@fmf.donntu.org

##### **В.И. Заика**

Телефон: +380 (71) 420-29-67  
Эл. почта: v.i.zaika@list.ru

##### **С.Н. Ратиев**

SPIN-код: 7771-8866  
Телефон: +380 (71) 387-35-97  
Эл. почта: rsn@donntu.org

Статья поступила 18.12.2018 г.

© А.А. Троянский, В.И. Заика, В.Л. Жук, С.Н. Ратиев, 2018  
Рецензент д.т.н., проф. А.Б. Бирюков