

УДК 669.18.046.517-982

Л. С. Молчанов¹, к.т.н., ORCID 0000-0001-6139-5956В. П. Піптюк¹, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-2915-1756С. В. Греков¹, н.с., ORCID 0000-0002-2848-0999¹ *Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

ДОЦІЛЬНІСТЬ ОСВОЄННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВАКУУМУВАННЯ СТАЛІ НА ПРАТ «КАМЕТСТАЛЬ»

Анотація. Робота присвячена розгляду доцільності освоєння в конверторному цеху ПрАТ «Каметсталь» (ДМК) технології вакуумної дегазації сталі вуглецевого та флокеночутливого марочного сортаменту на сучасному обладнанні відповідного призначення з метою зменшення вмісту газів та неметалевих включень в металопродукції. Вакуумування рідкого металу поза сталеплавильним агрегатом відкрило принципово нові можливості для значного підвищення всього комплексу фізико-механічних властивостей сталі різного призначення та ефективності металургійного виробництва. Прояв значного інтересу до цього процесу у ХХ столітті було викликано тим, що він відкрив нові, більш удосконалені технологічні можливості в здійсненні глибокого розкислення, зневуглицювання, легування та дегазації, що забезпечило значне підвищення якості сталі, що виплавляється. Важливою особливістю процесу вакуумної дегазації є можливість здійснення при незначному вакуумі (0,5-5,0 мм рт. ст.) доволі глибокого розкислення металу вуглецем, що міститься в ньому, при якому одночасно видаляються розчинені гази. Це дозволяє відмовитися від вживання в якості розкислювачів марганцю, кремнію, а в деяких випадках алюмінію і вирішити таким чином найбільш складну проблему сталеплавильного виробництва – отримання чистої сталі по вмісту неметалевих включень і газів. На вітчизняних металургійних та машинобудівних підприємствах за допомогою установок вакуумної дегазації камерного типу (VD) освоєно виробництво сталі різного марочного сортаменту. Також експлуатується одна установка дегазації циркуляційного типу (RH) у м. Суми. На сучасних закордонних металургійних і машинобудівних підприємствах знайшли ефективне застосування установки вакуумної дегазації RH, DH (порційного типу) і VD типів. Причому в останнє десятиліття значно поширилося використання RH способу, особливо в металургійній галузі Європейських країн, США та Японії. Теперішня робота присвячена розгляду важливого для ДМК питання – визначенню способів вакуумної дегазації сталі, прийнятних для умов підприємства з урахуванням особливостей марочного сортаменту сталі, що виробляється зараз і на найближчу перспективу.

Ключові слова: вакуумна дегазація сталі, спосіб, обладнання, параметри якості металу.

Посилання для цитування: Молчанов Л. С., Піптюк В. П., Греков С. В. Доцільність освоєння технології вакуумування сталі на ПрАТ «Каметсталь».

Стан питання. Сучасні технологічні маршрути позапічної обробки сталі в світовій металургії в переважній більшості випадків включають вакуумування рідкого металевого розплаву в сталерозливному ківші в якості однієї з важливих, необхідних і передостанніх перед розливом операцій. Наявність відповідного обладнання і здійснення такої операції при виробництві сталі обумовлена не лише можливістю забезпечення необхідних вимог відносно вмісту водню, кисню, азоту та вуглецю, остаточного корегування її хімічного складу але й отриманням «чистого» по неметалевим включенням металу.

Різноманіття існуючих і застосовуваних у сталеплавильному виробництві способів позапічної (ковшової) обробки дозволило отримувати сталь з необхідними вимогами, забезпечило більш ефективне використання дорогих енергетичних та матеріальних ресурсів і підвищило конкурентоспроможність металопродукції що виробляється.

З врахуванням перспектив виробництва вуглецевої та інших марок сталі з підвищеними вимогами до якості актуальним виявляється розгляд питання освоєння технології вакуумної дегазації металу в умовах конвертерного цеху ДМК.

Мета роботи: Розробником вакуумного способу дегазації рідкого металу, завдяки працям якого почалось його впровадження при виробництві сталі, був радянський вчений академік О. М. Самарін [1]. Теоретичні і технологічні основи вакуумної обробки сталі у другій половині ХХ століття розглянуті в монографіях [2, 3]. Більш пізні (70-90 роки) праці радянських вчених-металургів [4-7] присвячені аналізу та порівнянню ефективності застосування різних способів позапічної дегазації металу у СРСР та світі з врахуванням багаторічного практичного досвіду підприємств металургійної та машинобудівної галузей. Нижче наведені дані по досягнутим на теперішній час в світовій металургії концентраціям шкідливих домішок, газів і вуглецю в сталі підвищеної та високої якості за інформацією публікацій [8, 9].

В останні десятиліття тривала розробка нових марок сталі з заданими властивостями та з регламентованим вмістом шкідливих домішок та легуючих елементів, так званих «чистих сталей» [8, 9]. Сьогодні на світовому ринку фігурують більше 2000 різних марок сталей. На рис. 1 показано, як змінювався вміст домішок в сталях за минулі 50 років, а в табл. 1 наведено максимальний і мінімальний вміст найважливіших легуючих елементів у сталях, які виплавлені з використанням різних технологій позапічної обробки [8].

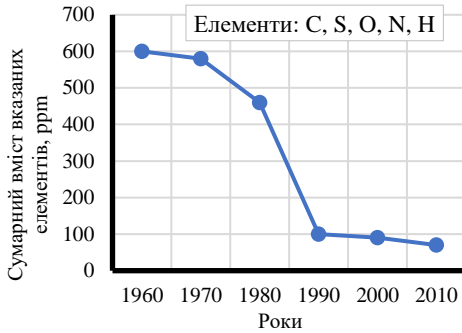


Рисунок 1 – Вміст домішок у сталі різних марок після позапічної обробки.

Таблиця 1 – Вміст легуючих елементів у сталі, що досягається після позапічної обробки.

Елементи	Вміст, %, min - max	Релевантні агрегати позапічної обробки
C	0,0010 – 2,50	VOD/VD, RH, DH, RH-OB, установка для перемішування сталі
Si	0,01 – 3,70	RH, DH, LTS
Mn	0,08 – 20,00	LF
Cr	0,03 – 25,00	VD, RH, DH, LF
Mo	0,01 – 4,50	LF або процеси первинної металургії
Ni	0,03 – 80,00	LF або процеси первинної металургії
Cu	0,03 – 3,50	LF або процеси первинної металургії
N	0,0020 – 0,5000	VD, RH, DH, LF, установка для перемішування сталі
Al	0,0020 – 5,50	VD, RH, DH, установка для перемішування сталі
W	0,020 – 6,50	LF або процеси первинної металургії
C	0,03 – 10,00	LF або процеси первинної металургії
V	0,01 – 1,50	VD, RH, DH, LF, установка для перемішування сталі
Ti	0,01 – 1,50	VD, RH, DH, установка для перемішування сталі
B, Se, Te, Ca, Pb, S	0,001 – 0,300	LF, установка для перемішування сталі

Позначення: VOD – вакуумно-кисневе знеуглецювання; VD – камерна вакуумна дегазація; RH – циркуляційне вакуумування; DH – порційне вакуумування; RH-OB – циркуляційне вакуумування з продуквою киснем; LTS – стенд для позапічної обробки; LF – установка ківш-піч.

На рис. 2 представлені сучасні технологічні схеми процесів ковшової металургії, використовувані на металургійних підприємствах Європи, США і Японії [8].

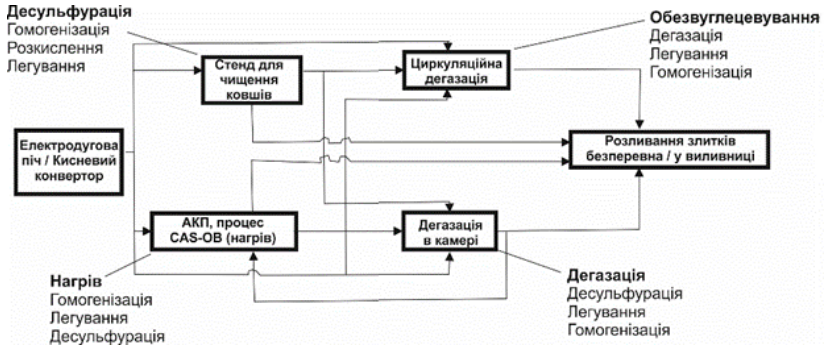


Рисунок 2 – Технологічні схеми процесів позапічної обробки сталі.

Нижче наведені деякі з основних напрямів розвитку процесів і устаткування ковшової (вторинної) металургії :

- вдосконалення вогнетривкої футерівки сталерозливних ковшів;
- розробка раціональних режимів і модернізація продувальних вузлів сталерозливних ковшів з метою підвищення чистоти сталі по НВ;
- створення багатофункціональних комплексів устаткування для обробки металу в сталерозливних ківшах.

З представлених у табл. 2 даних виходить, що до сучасної якісної сталі пред'являються високі вимоги, як по хімічному складу, так і по кількості, розмірам і розподілу НВ.

Таблиця 2 – Вимоги, що стосуються деяких груп якісної сталі.

Група сталі	Вміст домішок, ppm	Максимальний розмір неметалевих включень, мкм
IF - сталі	$C \leq 30, N \leq 40, O_{\text{заг}} \leq 40$	-
Сталі для глибокого витягу	$C \leq 30, N \leq 30,$	100
Біла жерсть	$C \leq 30, N \leq 40, O_{\text{заг}} \leq 20$	20
Трубні сталі	$S \leq 30, N \leq 35, O_{\text{заг}} \leq 30$	100
Підшипникові сталі	$O_{\text{обш}} \leq 10$	15
Сталі для виробництва товарного листа	$H \leq 2, N \leq 30-40, O_{\text{заг}} \leq 20$	15 (одиночні), 200 (скупчення)
Сталі для металокорду	$H \leq 2, N \leq 40, O_{\text{заг}} \leq 15$	10-20
Сталі для виробництва катанки	$N \leq 60, O_{\text{заг}} \leq 30$	20

У статтях [10-12] розглянуто деякі сучасні заходи стосовно підвищення стійкості вогнетривкої футерівки обладнання вакуумної дегазації сталі.

В монографії [12] розглянуто умови застосування і вимоги до вогнетривів. Наведена класифікація вогнетривів футерування, у т.ч. сталерозливних, проміжних ківшів і установок для позапічної обробки сталі (ківш-піч і вакуумних дегазаторів різного типу). Проаналізовано причини зносу футерівки ківшів і установок для позапічної обробки сталі. Наведено дані про стійкість футерівки, обладнання ківшів в залежності від виду і складу використовуваних матеріалів. Надані порівняльна оцінка експлуатаційних характеристик вогнетривких матеріалів і виробів, а також рекомендації щодо підвищення їх зносостійкості.

Таким чином перспективи виробництва вуглецевих та флокіночутливих марок сталі з підвищеними вимогами до якості передбачають необхідність освоєння технології вакуумної дегазації металу в конвертерному цеху ДМК. Це, в свою чергу, потребує облаштування відповідним обладнанням ділянки позапічної обробки.

Результати дослідження. Аналіз напрямів вдосконалення устаткування для ковшової обробки сталі в останні роки показав збереження тенденцій в розробці і використанні багатофункціональних комплексів для здійснення процесів вакуумування, рафінування і доведення сталі (склад і температура) при мінімізації матеріальних і енергетичних витрат.

В останні десятиліття у світовій металургійній практиці значне поширення отримала дегазація сталі в сталерозливному ківші (VD, VOD – камерні способи; DH – порційний і RH – циркуляційний способи та їх модифікації).

Теоретичні основи обробки рідкого металу під вакуумом представлені в публікаціях [2-7, 13]. У цих та інших монографіях і статтях розглянуті способи і технології камерного вакуумування сталі, циркуляційного і порційного вакуумування, вакуумного зневуглицювання і десульфурзації сталі при вакуумуванні.

Розгляд вакуумних установок RH і VD приведено в статті [14]. Перш за все відзначена порівняно велика швидкість, яка досягається за рахунок зневуглицювання і дегазації в RH способі. Для VD процесу обробка сталі більш тривала і вимагає перегріву металу перед процесом; RH процес здійснюється без участі шлаку, а VD процес – з активним рафінувальним шлаком, що дозволяє досягти $[S] \leq 10 \text{ppm}$; рафінування сталі на RH супроводжується втратами температури (до $8 \text{ }^\circ\text{C/хв}$), а у VD втрати температури зменшені (до 2-2,5 і до 4,5 $^\circ\text{C/хв}$ для ківшів місткістю 250 і 20 т відповідно); продуктивність

однокамерної установки VD на 50% менше установки RH. Таким чином, підкреслюється в статті, при виробництві IF-сталі краще використання RH способу, а для сталі змішаного або трубного сортаменту – VD способу. Крім того, десульфурація сталі рафінувальним шлаком на VD установці вимагає ефективного відсічення окисного шлаку.

У статті [15] розглянуті питання розвитку обладнання RH вакууматора у напрямку їх багатофункціональності на початку XXI століття. Перераховано фактори впливу на ефективність десульфурації сталі при одночасному забезпеченні низьких концентрацій кисню, водню і азоту. Наголошено на важливості забезпечення необхідного змісту шлаку з достатньою рухливістю і кількістю, контролю тривалості вакуумної обробки і витрати на продувку ванни ківша аргону (останній параметр є недостатньо обґрунтованим).

У статті [16] викладено результати дослідження інтенсивності масообміну в модельованій ванні, витрати газу, глибини занурення в розплави продувального сопла і його діаметра на величину залишкового тиску у вакуум - камері і тривалість процесу дегазації металу.

Розглянуті [17-20] різні способи вакуумування, напрямки їх удосконалення, недоліки і переваги, необхідність використання в залежності від сортаменту сталі, представлені підходи щодо вибору типів насосів і т. ін.

Прорекламований в свій час спосіб поточного (у струмені) вакуумування сталі [6] не можуть бути рекомендованими для умов ДМК у зв'язку з необхідністю облаштування усіх МБРЗ таким устаткуванням з метою забезпечення можливості безперервного виробництва металу необхідної якості і розливу в серіях. Крім того, головним конструктивним недоліком такого способу вакуумування для умов виробництва сталі на діючих сучасних металургійних підприємствах є необхідність збільшення відстані між сталерозливним і проміжним ківшами мінімум на 1,48 м, що потребує зміни принципу підвода вакуумованого металу до проміжного ківша, зміни його конструкції і реконструкції всього відділення розливання сталі для забезпечення необхідної висоти підкранових шляхів і розташування відповідного технологічного устаткування.

Нижче наведені деякі параметри дегазації сталі, що досягаються при використанні РМ (пульсаційне перемішування) способу [7]. Повідомляється, що на 1-ому етапі РМ обробки розрядка у вакуум камері значно нижче ніж у ДН та RH способах. Тому витрати енергії менші, хоча розрахункова питома енергія змішування складає 500 Вт/т сталі аналогічна ДН способу. По ефективності зниження вмісту кисню загального РМ спосіб аналогічний ДН. До переваг РМ способу слід

також віднести мінімальну вірогідність рефосфорації металу. Порівняння тривалості усереднення складу металу при різних способах дегазації теж свідчать на користь РМ способу[7]:

РМ спосіб позапічної обробки сталі отримав найбільше поширення в Японії.

Процес	РМ	DH	RH	VOD
Тривалість, с	100-190	15-300	150-400	120-360

За даними авторів статті [21] параметри дегазації металу відносно вмісту у сталі небажаних домішок для VD та RH способів виглядають наступним чином:

Елемент	Вміст елементу, ppm (x 10 ⁻⁴ %)	
	VD спосіб	RH спосіб
Вуглець	до 30	до 10
Сірка	до 5	до 20
Азот	до 30	до 30
Водень	до 1	до 1

Аналіз публікацій що освітлюють напрями розвитку технологій та обладнання для дегазації сталі, які розглядаються в теперішній роботі, за останні три десятиріччя у визнаному в світі міжнародному періодичному виданні «Iron and Steel Institution of Japan International» свідчить на користь RH (DH) способів. Можливість застосування комплексних технологій рафінування металу поряд з його дегазацією, зневуглецюванням та енергоефективністю процесів обробки сталі визначають пріоритет цих способів в сучасних умовах.

Вибір використовуваних технологічних маршрутів виробництва сталі в сучасних сталеплавильних цехах з позапічної обробкою металу визначається цільовими завданнями одержуваної металопродукції з урахуванням вимог НТД і технічних можливостей підприємства – виробника. Аналіз практики виробництва вуглецевих марок сталі [22] показав, що з огляду на схильності такого металу до утворення флокенів, місце розташування вакуумної обробки в технологічному маршруті виробництва повинно бути традиційним, тобто після ківш-піч, в якості завершального етапу позапічної обробки для видалення газів.

Висновки

1. Проаналізовані літературні дані по відомим і використовуваним в виробництві способам вакуумної дегазації сталі у сучасних світовій і вітчизняній металургійній і машинобудівній галузях.

2. Проведено порівняння різних способів вакуумної дегазації сталі у сталерозливному ківші, показані сучасні напрями їх розвитку і

визначена пріоритетність застосування камерного або циркуляційного способу вакуумної дегазації для умов, що відповідають розглянутим.

3. Виходячи з наведених даних для умов конвертерного цеху ПрАТ «КаМетСталь» рекомендовано до подальшого розгляду в якості прийняттого варіанту прямий технологічний маршрут (конвертер – установка ківш-піч – вакуумний дегазатор – МБРС) виробництва сталі з позапічною вакуумною дегазацією.

Перелік посилань

1. Самарин А. М. *Обработка жидкой стали в вакууме*. М. : Металлургия, 1960. 125 с.
2. Кнюпель Г. *Раскисление и вакуумная обработка стали*. Ч.1. термодинамические и кинетические закономерности. Перев. с нем. М. : Металлургия, 1973. 312с.
3. Кнюпель Г. *Раскисление и вакуумная обработка стали*. Ч.2. Основы и технология ковшевой металлургии. Пер. с нем. М. : Металлургия, 1984. 414 с.
4. Морозов А. Н., Стрекаловский М. М., Чернов Г. И., Кацнельсон Я. Е. *Внепечное вакуумирование стали*. М. : Металлургия, 1975. 288 с.
5. Новик В. М. *Внепечная вакуумная металлургия*. М. : Наука, 1986. 192 с.
6. Соколов Г. А. *Внепечное рафинирование стали*. М. : Металлургия, 1977. 208 с.
7. Поволоцкий Д. Я., Кудрин В. А., Вишкарёв А. Ф. *Внепечная обработка стали*. М. : МИСиС, 1995. 256 с.
8. Тенденции развития технологии производства стали высокой чистоты и огнеупорного производства / А. Бур, Р. Брукхауз, Р. Фандрих, К. Даннерт // *Черные металлы*. Апрель 2017. С. 29-37.
9. Semura K., Matsuura H. Past development and future prospects of secondary refining technology. *Tetsu to Hagane. Journal of the Iron and Steel Institute of Japan*. 2014. Vol. 100. №4. P. 456-471.
10. Сравнительный анализ новой безуглеродистой и традиционно углеродсодержащей футеровки на 120т ковшах LF-RH установки. Comparison analysis on new type carbon free lining applied on 120-ton LF-RH refining ladles / S. Li, H. Zhang, X. Ls et al // *Chinas Refractories*. 2017. Vol. 26. № 2. P.35-38.
11. Достижения и перспективы технологии огнеупоров. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2014. №2. С. 89-93. Пер. с англ. Progress and perspective of refractory technology / K. Goto, K. Rjhno, T. Kiyomoto et al // *Nippon Steel Technical Report*. 2013. №104 (August). – P. 21-25.
12. Стариков В. С., Темлянцев М. В., Стариков В. В. *Огнеупоры и футеровки в ковшевой металлургии* : уч. пособие для ВУЗов. М.: МИСИС, 2003. 328 с.
13. Янке Д. Металлургические основы вакуумной обработки жидкой стали. *Черные металлы*. 1987. № 19. С. 3-11.
14. Вакумирование стали на установках RH и VD. *Электрометаллургия*. 2004. № 11. С. 44-49.
15. Смирнов Н. А. Десульфурация стали при вакуумировании в ковше. *Электрометаллургия*. 2004. № 10. С. 11-16.
16. Найдек В. Л., Наривский А. В. Исследование массообмена в расплаве

при продувке его газовой струей в условиях вакуума. *Процессы литья*. 2005. № 1. С. 3-7.

17. Вимер Г. Э. Обзор технологий агрегатов и ковшовой металлургии. *Черные металлы*. 1998. Ноябрь-Декабрь. С. 26-29.

18. История успеха: способ циркуляционного вакуумирования после 50 лет развития / Хан Ф.-Й., Кноп И., Плох А. и др. // *Черные металлы*. 2009. № 4. С. 31-38.

19. Дорштвид Ф., Телеберген Д. Критерии выбора вакуумных насосов для агрегатов внепечной обработки стали. *Черные металлы*. 2013. № 9. С. 37-46.

20. Темберген Д., Айхерт Т. Развитие производства стали с применением различных способов вакуумирования. *Черные металлы*. 2013. Апрель. С. 39-47.

21. Современное состояние и тенденции развития ковшовой металлургии / Р. Фандрих, Б. Кляйтг, Х. Либиг и др. // *Черные металлы*. 2011. Декабрь. С. 40-48.

22. Стовпченко А. П., Грищенко Ю. Н., Камкина Л. В. К вопросу о месте вакуумной обработки в технологической цепочке сталеплавильного цеха. *Электрометаллургия*. 2012. № 12. С. 8-16.

References

1. Samarin A. M. (1960). *Obrabotka zhidkoy stali v vakuume [Processing of liquid steel in vacuum]*. Metallurgy. [in Russian]

2. Knuppel G. (1973). *Raskisleniye i vakuumnaya obrabotka stali. CH.1. Termodinamicheskiye i kineticheskiye zakonomernosti. [Deoxidation and vacuum processing of steel. Part 1. thermodynamic and kinetic laws]. Transl. with Germany]*. Metallurgy. [in Russian]

3. Knuppel G. (1984). *Raskisleniye i vakuumnaya obrabotka stali. CH.2. Osnovy i tekhnologiya kovshevoy metallurgii. [Deoxidation and vacuum processing of steel. Part 2. Fundamentals and technology of ladle metallurgy.] Transl. with Germany.* Metallurgy. [in Russian]

4. Morozov, A. N., Strekalovsky, M. M., Chernov, G. I., & Katsnelson, Ya. E. (1975). *Vnepechnoye vakuumirovaniye stali. [Out-furnace evacuation of steel]*. Metallurgy. [in Russian]

5. Novik, V. M. (1986). *Vnepechnaya vakuumnaya metallurgiya. [Out-furnace vacuum metallurgy]*. Nauka. [in Russian]

6. Sokolov, G. A. (1977). *Vnepechnoye rafinirovaniye stali. [Out-furnace refining of steel]*. Metallurgy. [in Russian]

7. Povolotsky, D. Ya., Kudrin, V. A., & Vishkarev, A. F. (1995). *Vnepechnaya obrabotka stali. [Out-furnace processing of steel]*. MISIS. [in Russian]

8. Bur, A., Brookhouse, R., Fandrich, R., & Dannert, K. (2017). Tendentsii razvitiya tekhnologii proizvodstva stali vysokoy chistoty i ogneupornogo proizvodstva [Trends in the development of technology for the production of high-purity steel and refractory production]. *Chernyye metally - Ferrous metals*. 4, 29-37. [in Russian]

9. Semura, K., & Matsuura, H. (2014). Past development and future prospects of secondary refining technology. *Tetsu to Hagane. Journal of the Iron and Steel Institute of Japan*. 100, 4, 456-471. [in English]

10. Li, S., Zhang, H., Ls, X. et al. (2017). Comparison analysis on new type

carbon free lining applied on 120-ton LF-RH refining ladles. *Chinas Refractories*. 26, 2, 35-38. [in English]

11. Goto, K., Rjuno, K., Kiyomoto, T. et al. (2013). Progress and perspective of refractory technology. *Nippon Steel Technical Report*. 104, 8, 21-25. [in English]

12. Starikov, V. S., Temlyantsev, M. V., & Starikov, V. V. (2003). *Ogneupory i futerovki v kovshevoy metallurgii [Refractories and linings in ladle metallurgy]*. Uch. manual for universities. MISIS. [in Russian]

13. Yanke, D. (1987). Metallurgicheskiye osnovy vakuumnoy obrabotki zhidkoy stali [Metallurgical foundations of vacuum processing of liquid steel]. *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 19, 3-11. [in Russian]

14. Vakuumirovaniye stali na ustanovkakh RH i VD [Vacuuming of steel using RH and VD units]. (2004). *Elektrometallurgiya. [Electrometallurgy]*, 11, 44-49. [in Russian]

15. Smirnov, N. A. (2004). Desulfuratsiya stali pri vakuumirovanii v kovshe. [Desulfurization of steel during evacuation in a ladle]. *Elektrometallurgiya [Electrometallurgy]*, 10, 11-16. [in Russian]

16. Naydek, V. L., & Narivsky, A. V. (2005). Issledovaniye massoobmena v rasplave pri produvke yego gazovoy struyey v usloviyakh vakuuma. [Study of mass transfer in the melt when blowing it with a gas jet under vacuum conditions]. *Protsessy litya [Casting Processes]*, 1, 3-7. [in Ukrainian]

17. Wiemer, G. E. (1998). Obzor tekhnologiy agregatov i kovshovoy metallurgii [Review of technologies of units and ladle metallurgy] *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 11-12, 26-29. [in Russian]

18. Khan, F.-Y., Knopp, I., Ploch, A. et al. (2009). Istoriya uspekha: sposob tsirkulyatsionnogo vakuumirovaniya posle 50 let razvitiya [Success story: a method of circulation evacuation after 50 years of development]. *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 4, 31-38. [in Russian]

19. Dorshvid, F., & Telebergen, D. (2013). Kriterii vybora vakuumnykh nasosov dlya agregatov vnepechnoy obrabotki stali [Criteria for the selection of vacuum pumps for out-of-furnace steel processing units]. *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 9, 37-46. [in Russian]

20. Tembergen, D., & Eichert, T. (2013) Razvitiye proizvodstva stali s primeneniym razlichnykh sposobov vakuumirovaniya [Development of steel production using various methods of vacuum degassing]. *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 4, 39-47. [in Russian]

21. Fandrich, R., Kleimt, B., & Liebig, H. (2011). Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya kovshovoy metallurgii [Current state and trends in the development of ladle metallurgy]. *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 12, 40-48. [in Russian]

22. Stovpchenko, A. P., Grishchenko, Yu. N., & Kamkina, L. V. (2012). K voprosu o meste vakuumnoy obrabotki v tekhnologicheskoy tsepochnke staleplavil'nogo tsekha [On the issue of the place of vacuum processing in the technological chain of a steelmaking shop]. *Elektrometallurgiya [Electrometallurgy]*, 12, 8-16. [in Russian]

L. S. Molchanov¹, Ph. D. (Tech.), ORCID 0000-0001-6139-5956

V. P. Piptyuk¹, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-2915-1756

S. V. Grekov¹, Researcher, ORCID 0000-0002-2848-0999

¹ *Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine*

FEASIBILITY OF DEVELOPING STEEL VACUUMING TECHNOLOGY AT "KAMETSTAL" PJSC

Abstract. The work is devoted to the consideration of the feasibility of developing in the converter shop of PJSC "Kametstal" (DMK) the technology of vacuum degassing of carbon and flake-sensitive steel grades using modern equipment for the appropriate purpose in order to reduce the content of gases and non-metallic inclusions in metal products. Vacuuming of liquid metal outside a steel-smelting unit has opened up fundamentally new opportunities for increasing the entire complex of physical and mechanical properties of steel for various purposes and the efficiency of metallurgical production. The manifestation of significant interest in this process in the twentieth century was caused by the fact that it opened up new, more advanced technological capabilities in the implementation of deep deoxidation, decarbonization, alloying and degassing, which provided a significant increase in the quality of the steel produced. An important feature of the vacuum degassing process is the possibility of carrying out, at a slight vacuum (0.5-5.0 mm Hg), a sufficiently deep deoxidation of the metal contained in it with carbon, during which dissolved gases are simultaneously removed. This makes it possible to abandon the use of manganese, silicon, and in some cases aluminum as deoxidizers and thus solve the most difficult problem of steelmaking - obtaining clean steel in terms of the content of non-metallic inclusions and gases. At domestic metallurgical and machine-building enterprises, with the help of chamber-type vacuum degassing installations (VD), the production of steel of various grades has been mastered. One circulation-type degassing unit (RH) is also in operation in Sumy. At modern foreign metallurgical and machine-building enterprises, effective use of vacuum degassing installations of RH, DH (batch type) and VD types has been found. Moreover, in the last decade, the use of the RH method has expanded significantly, especially in the metallurgical industry of European countries, the USA and Japan. The current work is devoted to the consideration of an important issue for DMK - the determination of methods for vacuum degassing of steel that are acceptable for the conditions of the enterprise, taking into account the characteristics of the grade of steel produced now and in the near future.

Key words: vacuum degassing of steel, method, equipment, metal quality parameters

For citation: Molchanov, L. S., Piptyuk, V. P., & Grekov, S. V. (2023). Feasibility of developing steel vacuuming technology at "Kametstal" PJSC. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 37, 220-230. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-220-230>

Стаття надійшла до редакції збірника 23.10.2023 р.

Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 9 від 19.12.2023 р.)