Таблица 1

**Технические характеристики камерного вакууматора**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Table 1. **Technical characteristics of the ladle degassing plant**

| Наименование параметра | Значения |
| --- | --- |
| Масса металла в ковше, максимальная, т | 120 |
| Высота свободного борта – не менее, мм | 500 |
| Высота вакуум-камеры, общая, мм | 5900 |
| Диаметр вакуум-камеры, мм | 5800 |
| Количество ступеней/эжекторов, шт/шт. | 5/7 |
| Продолжительность вакуумной обработки (мах), мин | 56 |
| Время работы насоса (разрежение >0,5 кПа), мин | 6 |
| Время вакуумирования (разрежение <0,5 кПа), мин | 28 |
| Расход пара (мах), т/час | 14,230 |
| Температура пара на входе, оС | 205-210 |
| Давление аргона (мах), (МПа) бар | (1,7) 16 |
| Давление азота (мах), (МПа) бар | (1,2) 12 |
| Расход аргона (мах)/(средний), м3/т | 0,072/0,03 |
| Расход азота, м3/т | 0,016 |

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**



Рис. 1. Распределение плавок по маркам стали за исследуемый период

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Fig. 1. The distribution of heats for steel grades for the study period

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**

Таблица 2

**Технологические параметры и результаты вакуумирования стали**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Table 2. **The process parameters and results of steel degassing**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование параметров | Значения параметров для различных марок стали\*1 | | | | |
| 09Г2С | 10ХСНД | 17Г1С-У | К56-2 | С-345 |
| Количество плавок, шт. | 260 | 174 | 157 | 282 | 146 |
| Конечное содержание водорода, рpm\*2 | 1,3-4,5  2,45 | 1,1-3,7  2,48 | 1,0-3,5  2,49 | 1,2-4,0  2,45 | 1,2-3,6  2,51 |
| Длительность обработки на УВС, мин | 1-57  38,2 | 6-34  21,8 | 5-42  21,1 | 0-89  21,6 | 5-53  21,61 |
| Время обработки при глубоком вакууме (<0,5 кПа), мин | 0-47  16,74 | 6-34  21,8 | 1-33  15,9 | 0-30  15,7 | 1-31  16,3 |
| Минимальное давление в камере, мбар | 0,5-4,7  2,22 | 0,5-4,1  1,7 | 0,4-4,1  1,8 | 0,4-3,5  1,9 | 0,5-4,3  1,9 |
| Расход аргона, м3/т | 0,004-0,120  0,033 | 0,003-0,097  0,030 | 0,004-0,102  0,031 | 0,002-0,146  0,030 | 0,002-0,081  0,027 |
| Температура перед УВС, °С | 1616-1662  1615,7 | 1593-1650  1615,9 | 1602-1660  1624,2 | 1599-1653  1617,5 | 1592-1646  1615,9 |
| Температура после УВС, °С | 1541-1624  1552 | 1545-1603  1552,8 | 1543-1635  1559,5 | 1542-1646  1556,5 | 1555-1587  1541,9 |
| Снижение температуры металла на УВС, °С | 54,7 | 55,9 | 55,3 | 54,6 | 65,8 |
| Скорость падения температуры на УВС, °С/мин | 1,44 | 1,44 | 1,48 | 1,42 | 1,44 |
| Уровень шлака в ковше, мм | 100-150  139 | 100-150  140,2 | 100-150  140,1 | 100-150  139,4 | 100-200  138,9 |
| Свободный борт, мм | 400-600  413,2 | 400-900  422,7 | 400-700  421,9 | 400-650  420,5 | 400-900  419,3 |
| \*1 в числителе – диапазон изменения, в знаменателе – среднее значение;  \*2 содержание водорода в стали перед вакуумированием в условиях ЭСПЦ АО «Уральская Сталь» не определяется. | | | | | |

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**



Рис. 2. Частота распределения содержания водорода

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Fig. 2. The frequency allocation of hydrogen content

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |
| в) | г) |

Рис. 3. Влияние параметров вакуумирования на остаточное содержание водорода в стали

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Fig. 3. The influence of vacuum parameters on the residual hydrogen of steel

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**

Таблица 3

**Результаты регрессионного анализа**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Table 3. **The regression results**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факторы | Коэффициенты в уравнении | Среднее значение фактора | Абсолютное влияние фактора | Степень влияния фактора, % |
| ,  Коэффициент множественной регрессии 0,58 | | | | |
| Длительность глубокого вакуумирования на УВС (), мин | -0,064 | 16,906 | -0,837 | -46,762 |
|  | 0,0008 | 303,042 |
| Минимальное давление в вакуумкамере (), мбар | 0,0136 | 2,003 | 0,130 | 7,218 |
|  | 0,0215 | 4,751 |
| Температура перегрева на УВС (), °С | -0,015 | 97,318 | -0,880 | -49,114 |
|  | 6,23E-05 | 9621,337 |
| Расход аргона (), м3/т | -5,966 | 0,034 | -0,203 | -11,340 |

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис. 4. Влияние продолжительности вакуумной обработки на температуру металла

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Fig. 4. The influence of vacuum period on the metal temperature

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**



Рис. 5. Взаимосвязь общей продолжительности обработки на УВС с длительностью глубокого вакуумирования

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Fig. 5. The correlation a total treatment time on the ladle degassing plant with the duration of deep vacuum

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**

Таблица 4

**Текущие и расчетные параметры и результаты вакуумирования в условиях АО «Уральская Сталь»**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Table 4. **The current and calculated parameters and vacuum treatment results in conditions of JSC "Ural Steel"**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры вакуумирования | Значения параметров | | |
| Фактические | Оптимальные\* | Рациональные |
| Длительность глубокого вакуумирования на УВС, мин | 16,91 | 39,92 | 20 |
| Минимальное давление в вакуум-камере, мбар | 2 | 1 | 1,5 |
| Температура перегрева на УВС, °С | 97,32 | 122 | 105 |
| Расход аргона, м3/т | 0,034 | 0,072 | 0,05 |
| Остаточное содержание водорода, ppm | 2,39 | 1,63 | 2,13 |
| \* с точки зрения достижения минимального содержания водорода. | | | |

***Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Калитаев А.Н.***

**«Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа»**

**04.08.2016.**

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. – М.: Мир, ООО «Издательство ACT», 2003 – 528 с.
2. Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарев А.Ф. Внепечная обработка стали: Учебник для вузов. – М.: МИСиС, 1995 – 256 с.
3. Морозов А.Н. Внепечное вакуумирование стали / Морозов А.Н., Стрекаловский М.М., Чернов Г.И., Кацнельсон Я.Е. – М.: Металлургия, 1975 – 288 с.
4. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Часть 1. Термодинамические и кинетические закономерности: Пер. с нем.- М.: Металлургия, 1973.-312 с.
5. [Шаповалов А.Н.](http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=477659), [Тутарова В.Д.](http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=455931), [Калитаев А.Н.](http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=658151) Совершенствование технологии вакуумирования осевых марок сталей в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь» // Литейные процессы, 2003. №12. С. 93-103.
6. Калитаев А.Н., Тутарова В.Д., Шаповалов А.Н., Бажуков Д.О. Проблемы формирования качественной непрерывнолитой круглой заготовки на МНЛЗ // Известия вузов. Черная металлургия, 2013. №5. С. 27-32.
7. Шевченко Е.В., Шаповалов А.Н. Проблемы получения качественной слябовой заготовки на МНЛЗ №2 ОАО «Уральская Сталь» // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия», 2013, том 13, № 1. С. 68-73.
8. Технологическая инструкция ТИ 13657842-СТ. ЭС-03-2014 Обработка стали на установке вакуумирования. – Новотроицк: ОАО «Уральская Сталь», 2014. – 18 с.
9. Бургман В., Давене Ж. Структура затрат на вакуумирование стали с учетом обработки в агрегате ковш-печь // Черные металлы, 2012. № 11. С. 41-49.
10. Зинченко С.Д. Технологические аспекты удаления водорода с использованием установки ковшевого вакуумирования стали / Зинченко С.Д., Филатов М.В., Ефимов С.В., Дуб А.В., Гошкадера С.В. // Металлург, 2004. № 11. С. 41-42.
11. Смирнов А.Н., Сафонов В.М. Вакуумирование стали: технология, оборудование // Электрометаллургия, 2008. № 11. С. 8-14.
12. Николаев А.О. Особенности вакуумирования трубных марок стали в условиях ККЦ ОАО «ММК» / Николаев А.О., Бигеев В.А., Николаев О.А., Чигасов Д.К. // Электрометаллургия, 2013. № 4. С. 19-24.
13. Житлухин Е.Г. Освоение и повышение эффективности технологии вакуумирования стали / Житлухин Е.Г., Мелинг В.В., Дресвянкина Л.Е., Гудов А.Г., Степанов И.А. // Сталь, 2014. № 6. С. 12-14.
14. Протасов А.В. Состояние и перспективы развития ковшового вакуумирования жидкой стали / Протасов А.В., Сивак Б.А., Лукьянов А.В., Никитенко А.С., Щёголев Н.А. // Черная металлургия, 2010. № 11 (1331). С. 38-44.
15. Небосов Ю.И., Сухарев С.В., Казаков С.В. Расчет кинетики удаления водорода в газовую фазу при ковшевом вакуумировании // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2007. № 7. С. 16-18.
16. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. – М.: Металлургия, 1968. – 283 с.
17. Карпенко Г.В., Крипяткевич Р.И. Влияние водорода на свойства стали. – М.: Металлургиздат, 1962. – 197 с.

**REFERENCES**

1. Kudrin V.A. Teorija i tehnologija proizvodstva stali [The theory and steel production technology]. Moskow: Mir, OOO «Izdatel'stvo ACT», 2003. 528 p. (In Russ.)
2. Povolockij D.Ja., Kudrin V.A., Vishkarev A.F. Vnepechnaja obrabotka stali [Secondary Metallurgy]. Moskow: MISiS, 1995. 256 p. (In Russ.)
3. Morozov A.N., Strekalovskij M.M., Chernov G.I., Kacnel'son Ja.E. Vnepechnoe vakuumirovanie stali [tapped-metal degassing]. Moskow: Metallurgija, 1975. 288 p. (In Russ.)
4. Knjuppel' G. Raskislenie i vakuumnaja obrabotka stali. Chast' 1. Termodinamicheskie i kineticheskie zakonomernosti [Deoxidation and steel degassing. Part 1: Thermodynamic and kinetic regularities]. Moskow: Metallurgija, 1973. 312 p. (In Russ.)
5. Shapovalov A.N., Tutarova V.D., Kalitaev A.N. Sovershenstvovanie tehnologii vakuumirovanija osevyh marok stalej v uslovijah JeSPC OAO «Ural'skaja Stal'» [Improving the technology of vacuum degassing axial steels under EAF JSC "Ural Steel"]. Litejnye processy, 2003. No.12. pp. 93-103. (In Russ.)
6. Kalitaev A.N., Tutarova V.D., Shapovalov A.N., Bazhukov D.O. Problemy formirovanija kachestvennoj nepreryvnolitoj krugloj zagotovki na MNLZ [Continuous quality problems of formation round billets at CCM №1 JSC "Ural Steel"]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya, 2013. No.5. pp. 27-32. (In Russ.)
7. Shevchenko E.V., Shapovalov A.N. Problemy poluchenija kachestvennoj sljabovoj zagotovki na MNLZ №2 OAO «Ural'skaja Stal'» [Problems for good slab ingot in CCM №2 JSC «Ural Steel»]. Vestnik JuUrGU. Serija «Metallurgija», 2013. Vol. 13. No.1. pp. 68-73. (In Russ.)
8. Tekhnologicheskaya instruktsiya TI 13657842-СТ. ЭС-03-2014. Obrabotka stali na ustanovke vakuumirovanija [Technological instruction TI 13657842-СТ. ЭС-03-2014. Steel degassing], Novotroitsk, JSC "Ural Steel", 2014. 18 p. (In Russ.)
9. Burgman V., Davene Zh. Struktura zatrat na vakuumirovanie stali s uchetom obrabotki v agregate kovsh-pech' [The structure of the vacuum steel in the cost with processing in the ladle furnace]. Chernye metally, 2012. No.11. pp. 41-49. (In Russ.)
10. Zinchenko S.D., Filatov M.V., Efimov S.V., Dub A.V., Goshkadera S.V. Tehnologicheskie aspekty udalenija vodoroda s ispol'zovaniem ustanovki kovshevogo vakuumirovanija stali [Technological aspects of the removal of hydrogen using a ladle degassing plant]. Metallurg, 2004. No.11. pp. 41-42. (In Russ.)
11. Smirnov A.N., Safonov V.M. Vakuumirovanie stali: tehnologija, oborudovanie [Steel degassing: technology, equipment]. Jelektrometallurgija, 2008. No.11. pp. 8-14. (In Russ.)
12. Nikolaev A.O., Bigeev V.A., Nikolaev O.A., Chigasov D.K. Osobennosti vakuumirovanija trubnyh marok stali v uslovijah KKC OAO «MMK» [Features of vacuum tube steel grades in a CCC OJSC "MMK"]. Jelektrometallurgija, 2013. No.4. pp. 19-24. (In Russ.)
13. Zhitluhin E.G., Meling V.V., Dresvjankina L.E., Gudov A.G., Stepanov I.A. Osvoenie i povyshenie jeffektivnosti tehnologii vakuumirovanija stali [The development and improvement of the efficiency of steel degassing]. Stal', 2014. No.6. pp. 12-14. (In Russ.)
14. Protasov A.V., Sivak B.A., Luk'janov A.V., Nikitenko A.S., Shhjogolev N.A. Sostojanie i perspektivy razvitija kovshovogo vakuumirovanija zhidkoj stali [Condition and Prospects of vacuum ladle of molten steel]. Chernaja metallurgija, 2010. No.11(1331). pp. 38-44. (In Russ.)
15. Nebosov Ju.I., Suharev S.V., Kazakov S.V. Raschet kinetiki udalenija vodoroda v gazovuju fazu pri kovshevom vakuumirovanii [Calculation of kinetic remove hydrogen in the gas phase during ladle vacuum treatment]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija, 2007. No.7. pp. 16-18. (In Russ.)
16. Morozov A.N. Vodorod i azot v stali [Hydrogen and nitrogen in steel]. Moskow: Metallurgija, 1968. 283 p. (In Russ.)
17. Karpenko G.V., Kripjatkevich R.I. Vlijanie vodoroda na svojstva stali [The effect of hydrogen on the properties of steel]. Moskow: Metallurgizdat, 1962. 197 p. (In Russ.)