

УДК 669.056

Малютин Н.С., Столяров А.М., Юдин Д.В.

КОВШЕВАЯ ОБРАБОТКА ТРУБНОЙ СТАЛИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ К60

Аннотация. Трубная сталь класса прочности К60 производится в кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». В кислородных конвертерах выплавляется полупродукт, а сталь получается в результате продолжительной обработки металла на участке ковшевой обработки отделения непрерывной разливки стали (ОНРС). В работе рассматриваются особенности ковшевой обработки трубного металла на данном участке. Для этого проанализирован массив производственных данных из 50 плавов стали класса прочности К60. Ковшевая обработка металла последовательно проводилась на АКП (первая часть), УВС и АКП (вторая часть). Общая продолжительность ковшевой обработки составляла в среднем 141 мин, или 2 ч и 21 мин. Для ее сокращения рекомендовано уменьшить первую часть обработки на АКП до 45 мин, вторую часть – до 20 мин, вакуумирование – до 30 мин. Это позволит уменьшить общую продолжительность обработки в среднем на 31 мин или на 22 % (отн.). Расчетные значения степени удаления серы и водорода достаточно высоки – в среднем 71,4 и 71,9% соответственно, значительно ниже – 14,1% степень удаления азота. Наибольшее усвоение получено для ниобия – 62,7%, меньшее – 42,4 и 30,2% для титана и кальция соответственно. При анализе данных установлена статистически значимая – с вероятностью 99,9% возрастающая линейная зависимость усвоения титана от содержания растворенного в металле алюминия. Согласно выявленной зависимости для получения усвоения титана не менее 45% следует иметь содержание растворенного в стали алюминия не ниже 0,0425%.

Ключевые слова: трубная сталь, агрегат «ковш-печь», вакууматор, ковш, обработка, технология

Трубная сталь класса прочности К60 производится в кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». В кислородных конвертерах выплавляется полупродукт, а сталь получается в результате продолжительной обработки металла на участке ковшевой обработки отделения непрерывной разливки стали (ОНРС) [1–7]. В работе рассматриваются особенности ковшевой обработки трубного металла на данном участке.

С этой целью проанализирован массив производственных данных из 50 плавов. Металл в сталеразливочном ковше сначала поступал на агрегат «ковш-печь» (АКП), где производилась корректировка химического состава с его усреднением путем донной продувки аргоном, десульфурация металла под «белым» шлаком, нагрев металла перед вакуумированием. После этого ковш транспортировался на установку вакуумирования стали (УВС) циркуляционного типа для дегазации металла. Затем ковш повторно отправлялся на АКП для проведения микролегирования металла и его усреднения перед разливкой на МНЛЗ.

Рассмотрим логистику ковшевой обработки трубной стали. На рис. 1 представлена информация об усредненной продолжительности обработки металла (в абсолютных цифрах) на разных агрегатах участка ковшевой обработки стали.

Следует отметить, что ковшевая обработка трубной стали имеет значительную общую продолжительность, составляющую в среднем 141 мин, или 2 ч и 21 мин. Продолжительность нахождения металла на различных агрегатах в относительных единицах показана на рис. 2.

Наибольшую долю времени – 61,5 % (отн.) металл суммарно обрабатывался на АКП, при этом первая часть обработки в 1,7 раза превышала вторую часть. Средняя продолжительность вакуумирования равнялась 39 мин и

составила 27,4% в относительных единицах. Общую продолжительность ковшевой обработки трубной стали необходимо, несомненно, сокращать.

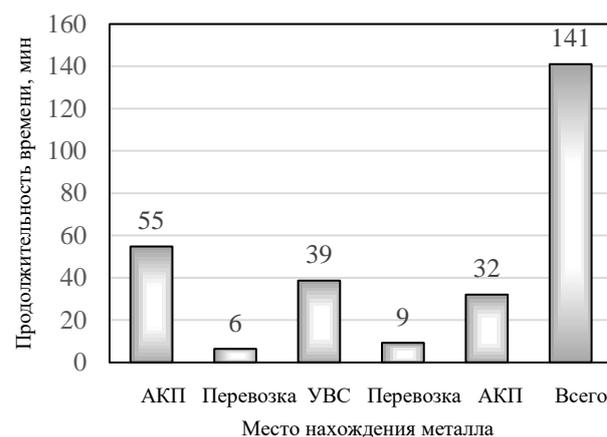


Рис. 1. Абсолютная продолжительность ковшевой обработки трубной стали

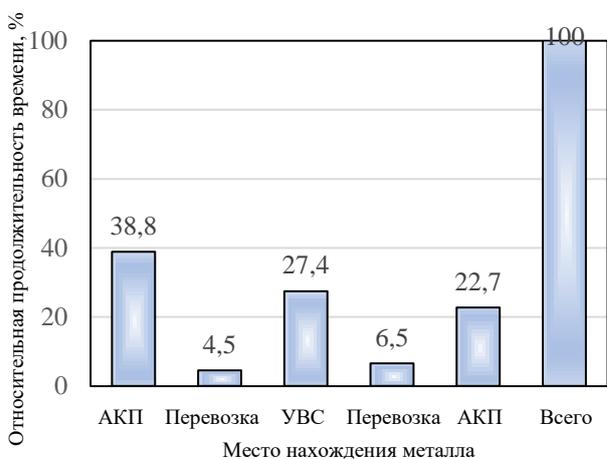


Рис. 2. Относительная продолжительность ковшевой обработки стали

© Малютин Н.С., Столяров А.М., Юдин Д.В., 2024

Для этого целесообразно сократить первую часть обработки на АКП до 45 мин, вторую часть – до 20 мин, вакуумирование – до 30 мин. Это позволит уменьшить общую продолжительность обработки в среднем на 31 мин или на 22% (отн.).

В процессе ковшевой обработки происходит изменение химического состава металла. Информация о химическом составе металла (% по массе) перед началом ковшевой обработки и после ее завершения представлена ниже:

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
До обработки	0,054	0,191	1,59	0,009	0,008	0,016	0,17
После обработки	0,069	0,217	1,71	0,002	0,009	0,023	0,17

Элемент	Cu	Al	Ti	Nb	N	Ca
До обработки	0,13	0,046	0,002	0,002	0,006	0,000
После обработки	0,13	0,039	0,022	0,051	0,005	0,002

В результате коррекции химического состава металла в нем увеличилось содержание углерода, кремния, марганца, фосфора, хрома, титана, ниобия и кальция, снизилось содержание серы, алюминия и азота, а содержание никеля и меди осталось прежним (рис. 3).

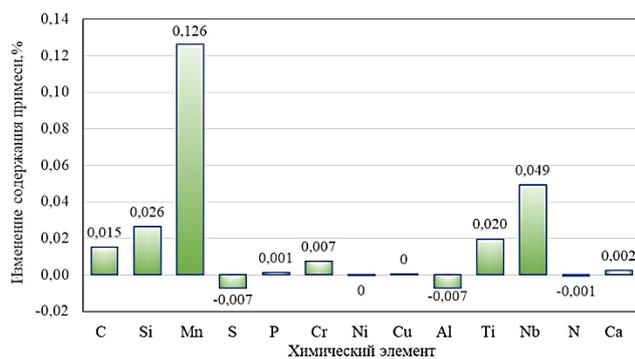


Рис. 3. Изменение химического состава стали в процессе ковшевой обработки

На рис. 4 показана информация об изменении усредненной температуры металла по ходу ковшевой обработки.

Для эффективной ковшевой обработки трубной стали чрезвычайно важное значение имеет температурный режим процесса, так как в процессе вакуумной обработки происходит неизбежное падение температуры металла, а для разливки на МНЛЗ должен быть сохранен его определенный перегрев над температурой ликвидус.

За первую часть обработки на АКП температура металла поднимается в среднем на 48°C для компенсации потерь тепла при вакуумировании в количестве 44°C. При осуществлении второй части обработки на АКП температура металла практически не меняется. Перед отдачей на МНЛЗ перегрев металла над температурой ликвидус в среднем составляет 55°C.

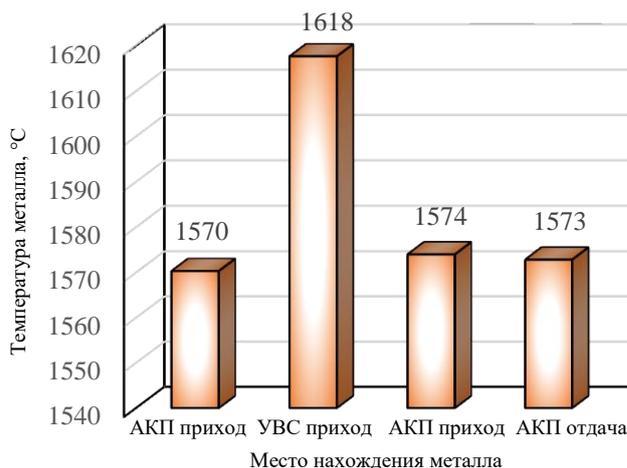


Рис. 4. Температурный режим ковшевой обработки

В процессе ковшевой обработки трубной стали решаются задачи по удалению из металла вредных примесей. Десульфурация металла осуществляется на первой части обработки на АКП путем наведения хорошо раскисленного «белого» шлака. Дегазация металла проводится на УВС при среднем остаточном давлении в вакуумной камере 0,7 мм рт. ст. Информация о расчетных значениях степени удаления вредных примесей представлена на рис. 5.

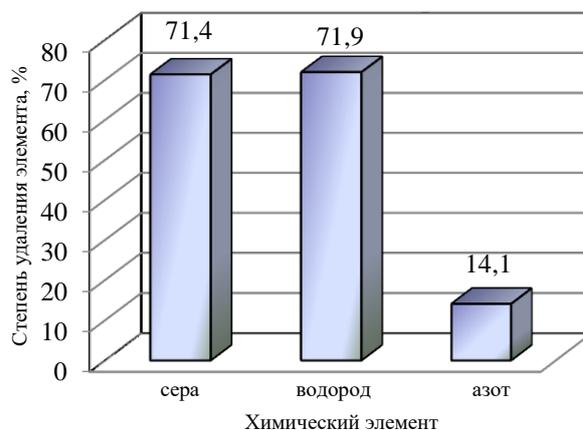


Рис. 5. Информация о степени удаления вредных примесей

Степень удаления серы и водорода достаточно высока – в среднем 71,4 и 71,9% соответственно. Значительно ниже – 14,1% степень удаления азота.

Микролегирование металла производилось во второй части обработки на АКП путем ввода порошковой проволоки с феррониобием, ферротитаном и феррокальцием. С учетом расхода данных материалов на ковш вместимостью 360 т рассчитано усвоение введенных элементов. Данные о среднем усвоении элементов показаны на рис. 6.

Наибольшее усвоение получено для ниобия – 62,7 %, меньшее – 42,4 и 30,2 % для титана и кальция соответственно.

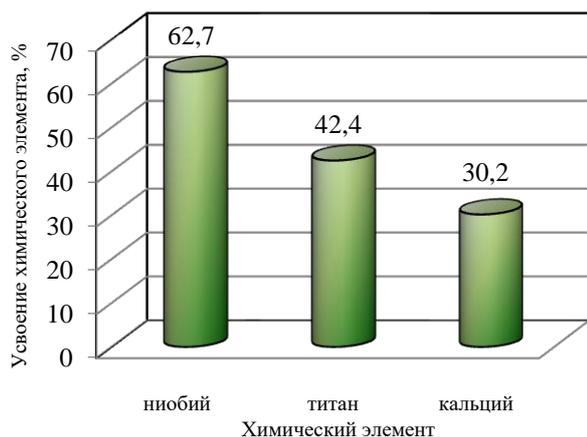


Рис. 6. Среднее усвоение введенных химических элементов

В процессе анализа данных установлена статистически значимая – с вероятностью 99,9% возрастающая линейная зависимость усвоения титана (U_{Ti} , %) от содержания растворенного в металле алюминия ($[Al]$, %). Данная зависимость характеризуется уравнением

$$U_{Ti} = 752,7 \cdot [Al] + 13,1, \quad r = 0,557, \quad r_{0,001} = 0,456.$$

Графическое изображение зависимости приведено на рис. 7. Для повышения усвоения титана необходимо проводить более полное раскисление металла.

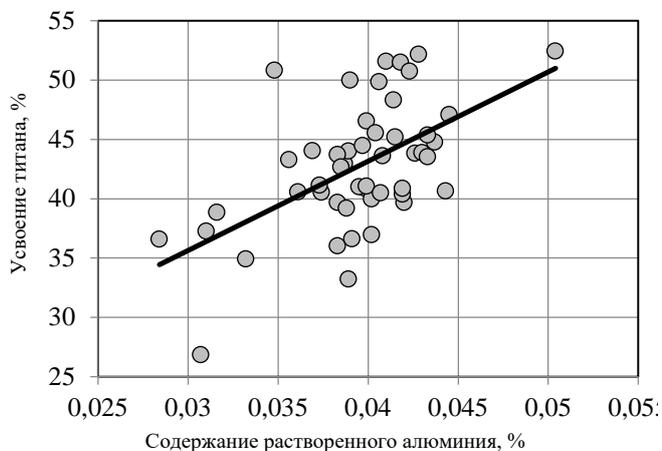


Рис. 7. Зависимость усвоения титана от содержания растворенного в стали алюминия

Согласно выявленной зависимости для получения усвоения титана не менее 45% следует иметь содержание растворенного в стали алюминия не ниже 0,0425%.

Заключение. В работе проанализирован массив производственных данных из 50 плавки стали класса прочности К60. Ковшевая обработка металла после-

довательно проводилась на АКП (первая часть), УВС и АКП (вторая часть). Общая продолжительность ковшевой обработки составляет в среднем 141 мин, или 2 ч и 21 мин. Для ее сокращения рекомендовано уменьшить первую часть обработки на АКП до 45 мин, вторую часть – до 20 мин, вакуумирование – до 30 мин. Это позволит уменьшить общую продолжительность обработки в среднем на 31 мин или на 22 % (отн.). Расчетные значения степени удаления серы и водорода достаточно высоки – в среднем 71,4 и 71,9% соответственно, значительно ниже – 14,1% степень удаления азота. Наибольшее усвоение получено для ниобия – 62,7%, меньшее – 42,4 и 30,2% для титана и кальция соответственно. При анализе данных установлена статистически значимая – с вероятностью 99,9% возрастающая линейная зависимость усвоения титана от содержания растворенного в металле алюминия. Для получения усвоения титана не менее 45% необходимо иметь содержание растворенного в стали алюминия не ниже 0,0425%.

Список источников

1. Еланский Г.Н., Линчевский Б.В., Кальменев А.А. Основы производства и обработки металлов. М.: МГВМИ, 2005. 416 с.
2. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Т. 3. Внепечная металлургия стали. М.: Тепло-техник, 2008. 544 с.
3. Современные процессы ковшевой десульфурации чугуна / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, М.В. Потапова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2019. Т.17. №2. С. 17–23.
4. Ковшевая обработка стали с вдуванием флюидизированной извести / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, В.В. Мошкунев // Теория и технология металлургического производства. 2016. №2 (19). С. 26 – 29.
5. Ушаков С.Н. Десульфурация стали на агрегате «ковш-печь» // Теория и технология металлургического производства. 2020. №2 (33). С. 4–10.
6. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Сомнат Басу, А.М. Столяров, М.В. Потапова, С.В. Дидович // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 24 – 27.
7. О выходе годного металла при производстве конвертерной стали / А.Н. Завалишина, А.М. Столяров, И.М. Потапов, Д.В. Юдин, В.П. Чернов // Теория и технология металлургического производства. 2022. №4 (43). С. 23-26.

Сведения об авторах

Малютин Николай Сергеевич – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Столяров Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: sam52.52@mail.ru

Юдин Данил Владиславович – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

LADLE TREATMENT OF PIPE STEEL OF STRENGTH CLASS K60

Malyutin Nikolay S. – Bachelor of Science, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Stolyarov Alexander M. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Material Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: sam52.52@mail.ru.

Yudin Danil V. – Bachelor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. Tube steel of strength class K60 is produced in the oxygen converter shop of PJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Semi-product is melted in oxygen converters, and steel is obtained as a result of continuous processing of metal at the ladle processing section of the continuous casting department. The paper considers the peculiarities of ladle processing of pipe metal at this section. For this purpose the array of production data from 50 melts of steel of strength class K60 is analyzed. The ladle treatment of metal was carried out sequentially at ACP (first part), UHS and ACP (second part). The total duration of ladle treatment was 141 min or 2 h and 21 min on average. For its reduction it is recommended to reduce the first part of processing on ACP to 45 min, the second part - to 20 min, vacuumizing – to 30 min. This will reduce the total treatment duration by 31 min or 22% (relative) on average. The calculated values of sulfur and hydrogen removal rate are quite high – 71.4 and 71.9% on average, respectively, the nitrogen removal rate is much lower – 14.1%. The highest assimilation was obtained for niobium – 62.7%, lower – 42.4 and 30.2% for titanium and calcium, respectively. When analyzing the data, a statistically significant (with a probability of 99.9%) increasing linear dependence of titanium assimilation on the content of aluminum dissolved in the metal was established. According to the revealed dependence for obtaining titanium assimilation not less than 45% it is necessary to have the content of dissolved aluminum in steel not lower than 0.0425%.

Keywords: pipe steel, ladle-furnace unit, vacuator, ladle, processing, technology

Ссылка на статью:

Малютин Н.С., Столяров А.М., Юдин Д.В. Ковшевая обработка трубной стали класса прочности K60 // Теория и технология металлургического производства. 2024. №4(51). С. 9-12.

Malyutin N.S., Stolyarov A.M., Yudin D.V. Ladle treatment of pipe steel of strength class K60. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2024, vol. 51, no. 4, pp. 9–12.