

УДК 669.187.26

Кунакбаева А.Т., Столяров А.М., Потапова М.В.

УСВОЕНИЕ СЕРЫ ПРИ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ АВТОМАТНОЙ СТАЛИ

Аннотация. Автоматная сталь марки А12 в электросталеплавильном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» производится в двухванном сталеплавильном агрегате вместимостью 180×180 т и обрабатывается на агрегате «ковш-печь» (АКП). На АКП в металл вводится требуемое для автоматной стали количество серы порошковой проволокой. В работе рассматривается усвоение серы в процессе ковшевой обработки на АКП автоматной стали марки А12. Для этого исследован массив производственных данных из 38 плавов стали данной марки. В работе установлены зависимости коэффициента распределения серы от основности шлака на АКП, содержания в шлаке оксида марганца и суммарного содержания оксидов железа и марганца. Выявлены зависимости усвоения серы от содержания кремния в металле, отношения содержания марганца к содержанию кремния и отношения содержания кальция к содержанию алюминия. Для повышения эффективности усвоения технически чистой серы, вводимой в металл внутри порошковой проволоки диаметром 14–16 мм при ковшевой обработке автоматной стали марки А12 на агрегате «ковш-печь», рекомендуется иметь основность шлака не более 1,5, содержание оксида марганца в шлаке выше 2,5%, а сумму оксидов железа и марганца более 4,5%; содержание кремния в металле 0,20–0,35%; отношение $[Mn]/[Si]$ не более 4,0; отношение $[Ca]/[Al]$ 0,2–0,3 (при разливке открытой струей) и 0,4–0,5 (при разливке закрытой струей).

Ключевые слова: автоматная сталь, ковшевая обработка, порошковая проволока, сера, усвоение.

Автоматная сталь марки А12 предназначена для массового производства на быстроходных станках-автоматах метизных изделий: болтов, винтов, гаек, шпилек, мелких деталей швейных, текстильных и других машин с наименьшей себестоимостью. Для этого такая сталь должна обладать наилучшей обрабатываемостью резанием и обладать следующими свойствами [1]:

- легким надломом стружки для быстрого ее удаления;
- низкой шероховатостью получаемой поверхности;
- вызывать наименьший износ режущего инструмента;
- возможностью резания деталей на повышенных скоростях для увеличения производительности обработки.

Для обеспечения таких свойств автоматная сталь марки А12 имеет повышенное содержание серы и фосфора. В соответствии с требованиями ГОСТ 1414-75 содержание химических элементов (% по массе) в этой стали должно быть следующим:

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N
0,08-0,10	0,15-0,35	0,70-0,90	0,08-0,12	0,08-0,15	$\leq 0,10$	$\leq 0,12$	$\leq 0,15$	$\leq 0,012$

Разливка стали: открытой струей	Al	Ca/Al
	$\leq 0,006$;	0,05-0,30;
закрытой струей	Al	Ca/Al
	$\leq 0,010$;	$\geq 0,10$.

Сера вводится в сталь в процессе ее ковшевой обработки кусковыми материалами или порошковой проволокой [2, 3].

В электросталеплавильном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» сталь марки

А12 производится в двухванном сталеплавильном агрегате вместимостью 180×180 т, раскисляется при выпуске в ковше силикомарганцем, ферросилицием, в металл вводится феррофосфор и ковш поступает на агрегат «ковш-печь» (АКП) [4]. На этом агрегате в металл вводится требуемое для автоматной стали количество серы. В работе рассматривается усвоение серы в процессе ковшевой обработки на АКП автоматной стали марки А12.

Для этого исследован массив производственных данных из 38 плавов стали данной марки. На АКП производится коррекция химического состава металла и его температуры, перемешивание металла в результате продувки аргоном, получение шлака требуемого состава. Состав металла изменяется путем введения как кусковых материалов, так и порошковой проволоки диаметром 14–16 мм. Изменение среднего содержания серы в металле исследованных плавов показано на рис. 1.

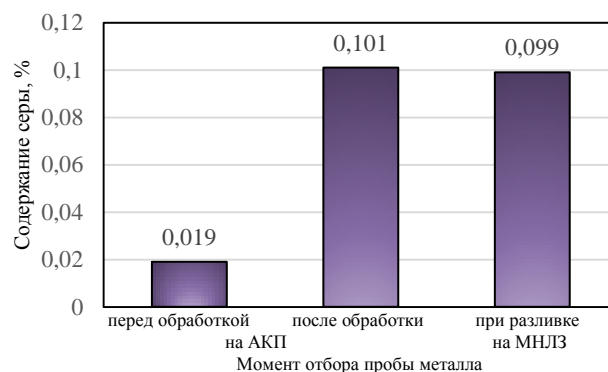


Рис. 1. Изменение среднего содержания серы в стали

Из рис. 1 видно, что в процессе обработки металла на АКП содержание серы увеличилось в среднем с 0,019 до 0,101% (на 0,082%), а в литом металле до 0,099% (на 0,080%). Это стало возможным благодаря введению в металл с помощью трайб-аппаратов по-

рошковой проволоки, содержащей технически чистую серу. При производстве автоматной стали на АКП решается задача не традиционного удаления серы из металла в шлак [5, 6], а сохранения вводимой в металл серы. Следовательно, необходимо, чтобы коэффициент распределения серы между шлаком и металлом принимал возможно меньшие значения. Для исследованного массива плавок коэффициент распределения серы принимал значения в диапазоне 0,2–6,3 и в среднем равнялся 2,7. Эти значения немного ниже уровня величин коэффициента распределения серы между шлаком и металлом при выплавке стали в двухванной печи.

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что этот коэффициент L_S зависит от основности шлака B и содержания в шлаке оксидов железа FeO , % и марганца MnO , %, согласно следующим уравнениям:

$$L_S = 3,768 \cdot \ln B + 1,076, \quad \eta = 0,778; \quad (1)$$

$$L_S = 2,967 - 1,406 \cdot \ln (MnO), \quad \eta = 0,771; \quad (2)$$

$$L_S = 6,862 \cdot [(FeO) + (MnO)]^{-1,135}, \quad \eta = 0,744. \quad (3)$$

Графический вид зависимостей (1) и (2) приведен на рис. 2 и 3.

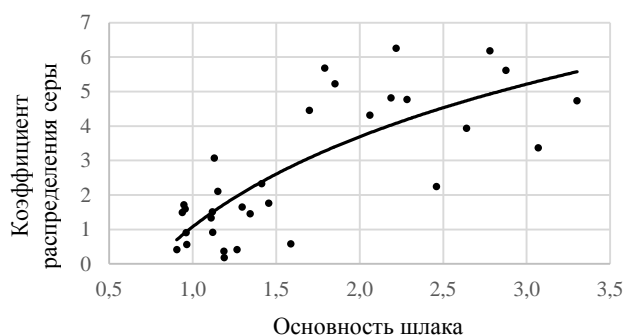


Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения серы от основности шлака на АКП

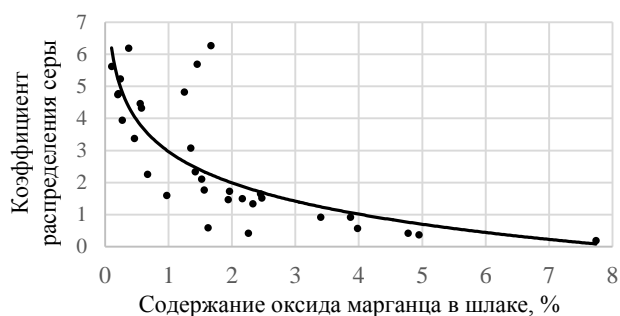


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения серы от содержания оксида марганца в шлаке на АКП

При ковшевой обработке автоматной стали на АКП основность шлака рекомендуется иметь не более 1,5 (см. рис. 2), содержание оксида марганца в шлаке – выше 2,5%, а сумму оксидов железа и марганца – более 4,5%.

С целью снижения основности шлака в ковш вводится около 900 кг сухого кварцевого песка.

Анализ влияния различных параметров на усвоение вводимой в металл серы показал, что сера, поступившая в металл из порошковой проволоки, используется более эффективно при высокой степени раскисленности металла. Для достижения этого в условиях низкого содержания алюминия, требуемого стандартом для успешной разливки металла, на первый план выходит другой элемент-раскислитель – кремний. На рис. 4 представлена возрастающая зависимость усвоения серы (U_S , %) от содержания кремния в металле ($[Si]$, %), характеризуемая уравнением

$$U_S = 236,78 \cdot [Si] + 25,52, \quad r = 0,461, \quad r_{0,01} = 0,413. \quad (4)$$

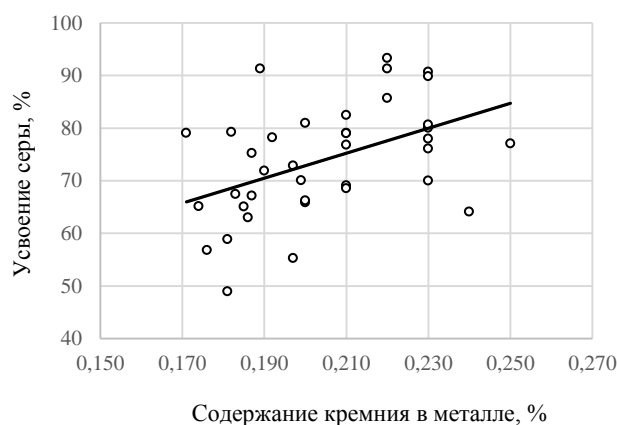


Рис. 4. Зависимость усвоения серы от содержания кремния в автоматной стали

Эта линейная зависимость статистически значима с вероятностью 99%.

С еще более высокой вероятностью – 99,9% существует зависимость усвоения серы (U_S , %) от отношения содержания марганца к содержанию кремния в металле $[Mn]/[Si]$ (рис. 5):

$$U_S = 120,2 - 12,03 \cdot [Mn]/[Si], \quad r = -0,513, \quad r_{0,001} = 0,513. \quad (5)$$

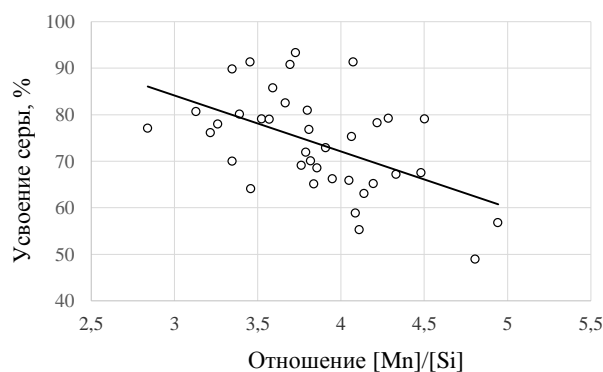


Рис. 5. Зависимость усвоения серы от отношения содержания марганца в металле к содержанию кремния

С ростом содержания кремния в металле отношение $[Mn]/[Si]$ уменьшается, а усвоение серы увеличивается.

Кальций вводится в автоматную сталь для модифицирования образующихся комплексных неметаллических включений. При увеличении отношения содержания кальция к содержанию алюминия усвоение серы растет по зависимости, приведенной на рис. 6, согласно уравнению

$$U_S = 27,031 \cdot [Ca]/[Al] + 62,10, r = 0,377, r_{0,05} = 0,321. \quad (6)$$

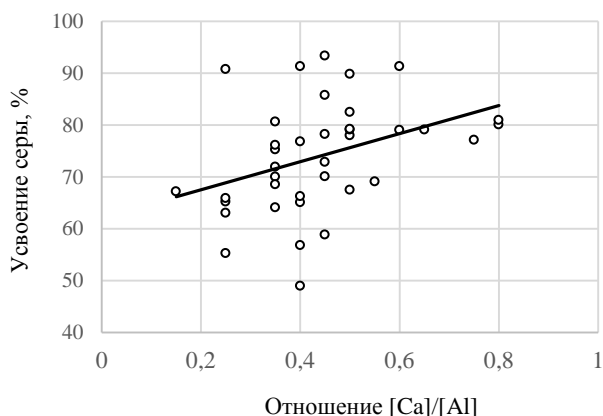


Рис. 6. Влияние отношения содержания кальция в металле к содержанию алюминия на усвоение серы

Из рис. 4–6 следует, что величина усвоения серы при ковшевой обработке автоматной стали марки А12 изменялась в очень широком интервале – от 49,0 до 93,3% и в среднем равнялась 74,0%.

Для повышения эффективности и усвоения технически чистой серы, вводимой в металл внутри порошковой проволоки диаметром 14–16 мм при ков-

шевой обработке автоматной стали марки А12 не агрегате «ковш-печь», рекомендуется иметь основность шлака не более 1,5, содержание оксида марганца в шлаке – выше 2,5%, а сумму оксидов железа и марганца – более 4,5%; содержание кремния в металле 0,20–0,35%; отношение $[Mn]/[Si]$ не более 4,0; отношение $[Ca]/[Al]$ 0,2–0,3 (при разливке открытой струей) и 0,4–0,5 (при разливке закрытой струей).

Список литературы

1. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. М.: Металлургия, 1984. 360 с.
2. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. *Современная технология производства стали*. М.: Теплотехник, 2007. 528 с.
3. Оптимизация технологии производства стали с нормируемым содержанием серы на Белорусском металлургическом заводе / В.В. Кисиленко, В.П. Онищук, Д.А. Дюдкин и др. // *Сталь*. 2004. №12. С. 49-50.
4. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. *Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 308 с.
5. Ушаков С.Н. Десульфурация стали на агрегате «ковш-печь» // *Теория и технология металлургического производства*. 2020. №2 (33). С. 4–10.
6. Ковшевая обработка стали с вдуванием флюидизированной извести / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, В.В. Мошкунов // *Теория и технология металлургического производства*. 2016. №2 (19). С. 26–29.

Сведения об авторах

Кунакбаева Альбина Талгатовна – магистрант кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: mcm@magtu.ru

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

Потапова Марина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

DESULFURIZATION OF FREE-CUTTING STEELS IN LADLE-FURNACE

Kunakbaeva Albina T. – student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mcm@magtu.ru

Stolyarov Alexander M. – D.Sc. (Eng), Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: sam52.52@mail.ru

Potapova Marina V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

Abstract. *Free-cutting steel (grade A12) is produced in a two-vaned steel-making unit (capacity of 180×180 tons) and processed on a ladle-furnace unit (LFU) in the electric steel-making shop of PJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works". The sulfur required for free-cutting steel is added into the metal with a flux-cored wire. The assimilation of sulfur in the process of ladle treatment of A12 free-cutting steel is considered in the paper. The production data array from 38 heats was analyzed. The dependences of the sulfur distribution coefficient on the basicity of the slag, the content of manganese oxide in the slag and the total content of iron and manganese oxides are established in the work. Dependences of sulfur assimilation on the silicon content in the metal, the ratio of the manganese content to the silicon content and the ratio of the calcium content to the aluminum content were revealed. For increase the efficiency of sulfur assimilation a flux-cored wire with a diameter of 14-16 mm is added to the metal during ladle treatment. It is recommended to provide a slag basicity of no more than 1.5, oxide content manganese in the slag is more than 2.5%, and the amount of iron and manganese oxides are more than 4.5%; the silicon content in the metal is 0.20-0.35%; the ratio [Mn] / [Si] is not more than 4.0; the ratio [Ca] / [Al] is equaled to 0.2-0.3 during casting with an open jet and 0.4-0.5 during casting with a closed jet.*

Keywords: *free-cutting steel, ladle-furnace processing, flux-cored wire, sulfur, assimilation.*

Ссылка на статью:

Кунакбаева А.Т., Столяров А.М., Потапова М.В. Усвоение серы при ковшевой обработке автоматной стали // Теория и технология металлургического производства. 2021. №1(36). С. 11-14.

Kunakbaeva A.T., Stolyarov A.M., Potapova M.V. Desulfurization of free-cutting steels in ladle-furnace. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 36, no. 1, pp. 11-14.