



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-29-34>
УДК 669.046

Поступила 02.08.2024
Received 02.09.2024

РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ КАРБИДОМ КАЛЬЦИЯ. ВЛИЯНИЕ ПРИСАДКИ КАРБИДА КАЛЬЦИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ СТАЛИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

А. В. ШАТОВСКИЙ, О. М. ГРУДНИЦКИЙ, С. В. КОНОВАЛЕНКО,
И. А. КОВАЛЕВА, А. А. КОВАЛЕВ, В. О. МОРОЗОВ,
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.

Одним из основных факторов, определяющих конечные свойства металлопродукции, является количество, морфология и распределение неметаллических включений в стали. В статье рассматриваются вопросы, связанные с использованием в сталеплавильном производстве карбида кальция взамен алюминия вторичного и других раскисляющих материалов с целью повышения качества выпускаемой продукции. При проведении опытной работы по использованию в сталеплавильном производстве карбида кальция взамен алюминия вторичного и других раскисляющих материалов использовался карбид кальция второго сорта по ГОСТ 1460-81. Для определения загрязнения стали неметаллическими включениями отбор проб осуществлялся с горячекатаного проката, полученного из непрерывнолитых заготовок. По результатам проведенной работы установлено, что улучшение раскисления расплава на плавках с использованием карбида кальция может быть достигнуто увеличением его расхода. В свою очередь использование карбида кальция для раскисления расплава, при его выпуске из дуговой сталеплавильной печи в стальковш взамен алюминия вторичного чушкового марки AB87 по ГОСТ 295-98 способствует снижению загрязненности стали неметаллическими включениями.

Ключевые слова. Свойства металлопродукции, карбид кальция, рациональное раскисление металла, внепечная обработка стали, неметаллические включения, уровень дефектности, расчетный коэффициент.

Для цитирования. Шатовский, А. В. Раскисление стали карбидом кальция. Влияние присадки карбида кальция на загрязненность стали неметаллическими включениями / А. В. Шатовский, О. М. Грудницкий, С. В. Коноваленко, И. А. Ковалева, А. А. Ковалев, В. О. Морозов // Литье и металлургия. 2024. № 3. С. 29–34. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-29-34>.

DEOXIDATION OF STEEL WITH CALCIUM CARBIDE. INFLUENCE OF CALCIUM CARBIDE ADDITION ON STEEL CONTAMINATION BY NON-METALLIC INCLUSIONS

A. V. SHATOVSKY, O. M. GRUDNITSKIY, S. V. KONOVALENKO,
I. A. KOVALEVA, A. A. KOVALEV, V. O. MOROZOV,
OJSC “BSW – management company of “BMC” holding”,
Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.

One of the main factors determining the final properties of metal products is the quantity, morphology and distribution of non-metallic inclusions in steel. The article deals with the issues related to the use of calcium carbide in steelmaking production, instead of secondary aluminum and other deoxidizing materials, in order to improve the quality of the products. During the experimental work on the use of calcium carbide in steelmaking production, instead of secondary aluminum and other deoxidizing materials, second grade calcium carbide according to GOST 1460–81 was used. To determine the contamination of steel with non-metallic inclusions, sampling was carried out from hot-rolled products obtained from continuously cast billets. According to the results, it was found that the improvement of melt deoxidation in melts using calcium carbide can be achieved by increasing its consumption. In turn, the use of calcium carbide for deoxidation of the melt upon its release from the electric arc furnace into the ladle, instead of secondary aluminum ingots of grade AB87 according to GOST 295–98, helps to reduce the contamination of steel with non-metallic inclusions.

Keywords. Properties of metal products, calcium carbide, rational deoxidation of metal, ladle treatment of steel, non-metallic inclusions, defect level, calculated coefficient.

For citation. Shatovsky A. V., Grudnitskiy O. M., Konovalenko S. V., Kovaleva I. A., Kovalev A. A., Morozov V. O. Deoxidation of steel with calcium carbide. Influence of calcium carbide addition on steel contamination by non-metallic inclusions. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 3, pp. 29–34. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-29-34>.

Введение

Постоянная задача любого производителя – поиск возможностей повышения качества выпускаемой продукции при одновременном снижении ее себестоимости. Одним из основных факторов, определяющих конечные свойства металлопродукции, является количество, морфология и распределение неметаллических включений в стали. Рациональное раскисление металла и шлака – важнейшая операция сталеплавленного производства, непосредственно влияющая на количество и свойства таких включений. Выбор типа раскислителя и технологии раскисления – специфическая задача для каждого металлургического производства, которая зависит от множества факторов, таких, как состав и свойства исходного металла, требования к качеству и характеристикам готового продукта, экономическая эффективность и экологическая безопасность. В рамках производства в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – предприятие) было принято решение опробовать использование карбида кальция.

Впервые карбид кальция, а именно партия карбида кальция второго сорта по ГОСТ 1460-81, фракции 2/25, поступила на испытания в условиях сталеплавленного производства на предприятие в 2007 г. Во второй раз испытания технологии раскисления стали карбидом кальция проходили в 2011 г.

Было установлено, что карбид кальция может быть использован для раскисления шлака и металла при внепечной обработке стали. Однако отсутствие технологических преимуществ и сравнительно высокая его стоимость (в сравнении с вторичным алюминием и карбидом кремния) оставляли использование карбида кальция в качестве раскислителя шлака и металла нецелесообразным [2].

Только в настоящее время снижение стоимости карбида кальция позволило вернуться к рассмотрению вопроса о целесообразности его использования в сталеплавленном производстве на предприятии.

Основная часть

В ходе опытной работы по оптимизации раскисления стали в сталеплавленном процессе был применен карбид кальция второго сорта по ГОСТ 1460-81 (основная фракция от 2 до 25 мм) в качестве альтернативы алюминию вторичному и другим раскислителям. Карбид кальция был упакован в металлические 10-литровые барабаны в виде шайбы (по $10 \pm 1,5$ кг).

Шихтовка плавов, химический состав стали соответствовали требованиям действующей нормативной документации. Выплавку, внепечную обработку, разливку, прокат стали осуществляли в соответствии с действующей технологией на предприятии.

Для определения загрязнения стали неметаллическими включениями отбор проб проводили с горячекатаного проката, полученного из непрерывнолитых заготовок (НЛЗ). Отобранные пробы передавали в лаборатории для исследований.

Оценка эффективности раскисления расплава при выпуске из ДСП

При проведении опытной работы для раскисления расплава, при его выпуске из дуговой сталеплавильной печи (ДСП) в стальковш взамен алюминия вторичного чушкового марки АВ87 по ГОСТ 295-98 присаживали карбид кальция. Присадку карбида кальция проводили в барабанах технологическим персоналом вручную через трубу присадки алюминия чушкового. Присаживали карбид кальция на дно ковша непосредственно перед выпуском плавки или под струю металла, при выпуске расплава из сталеплавленного агрегата в сталеразливочный ковш до наполнения расплавом 1/3 стальковша. Присадку ферросплавов и шлакообразующих осуществляли при наполнении от 1/2 стальковша.

После окончания выпуска расплава из ДСП стальковш с плавкой перемещали на установку доводки металла (УДМ). В случае попадания во время выпуска в стальковш печного шлака осуществляли его скачивание самотеком и/или с применением машины скачивания шлака, после чего ковш с металлом возвращали для дальнейшей обработки на УДМ. На УДМ проходила усреднительная продувка расплава в ковше инертным газом (аргоном) через донные пористые пробки. После продувки расплава инертным газом в течение не менее 5 мин осуществляли отбор пробы металла. Пробу металла направляли в лабораторию для определения химического состава стали.

Дальнейшую доводку опытных плавов проводили на установках внепечной обработки стали согласно действующей нормативной документации.

Изначально присадку карбида кальция осуществляли в количестве 120 кг на плавку. На опытных плавках было отмечено снижение коэффициента усвоения ферросплавов после присадки на выпуске расплава из ДСП. Количество присаживаемого карбида кальция было увеличено до 150 кг на плавку.

Для оценки эффективности раскисления стали карбидом кальция выполнен расчет усвоения легирующих элементов при выпуске опытных плавов с присадкой по 120 и 150 кг карбида кальция и сравнительных с присадкой по 120 кг алюминия вторичного чушкового марки АВ87 по ГОСТ 295-98. В табл. 1 приведены результаты расчетов усвоения кремния и марганца из ферросплавов, отданных при выпуске расплава из ДСП на опытных и сравнительных плавках. Для расчета использовали выборки плавов из углеродистых качественных марок стали 20, 35, 40 45. Содержания кремния и марганца в расплаве перед выпуском из ДСП приняты равными нулю.

Таблица 1. Данные по усвоению кремния и марганца при выпуске расплава

Усвоение элементов из ферросплавов, средние значения, %			
При присадке карбида кальция:	Количество плавов в выборке	Si	Mn
по 120 кг	46	58	88
по 150 кг	19	64	88
При присадке алюминия АВ87:			
по 120 кг	90	65	96

Из табл. 1 следует, что усвоение кремния и марганца из ферросплавов на опытных плавках с использованием карбида кальция ниже, чем на сравнительных плавках с использованием алюминия и является следствием недостаточного раскисления расплава опытных плавов перед присадкой ферросплавов. Улучшение раскисления расплава на плавках с использованием карбида кальция может быть достигнуто увеличением его расхода.

Проведенные испытания показали возможность использования карбида кальция взамен алюминия вторичного чушкового марки АВ87 для раскисления расплава при его выпуске из ДСП в стальковш.

Влияние присадки карбида кальция на загрязненность стали неметаллическими включениями

Взаимодействие карбида кальция с кислородом в расплаве происходит по следующей реакции:



В результате образуются оксид кальция (известь) и оксид (диоксид) углерода, что предполагает меньшее загрязнение стали продуктами раскисления в сравнении с плавками, расплав которых раскислялся алюминием [3].

Плавки, прокатанные на стане 850

Обработанные данные по загрязненности неметаллическими включениями опытных и промышленных плавов (исключая плавки с неудовлетворительными результатами) за одинаковый период времени показывают, что количество опытных плавов составляет 8, сравнительных – 235. В табл. 2 приведены результаты средних и максимальных значений (в баллах) по загрязненности плавов неметаллическими включениями, испытанных согласно ASTM E45, метод А (наихудшие поля).

Данный метод применяется для исследования включений, которые образуются при раскислении или вследствие ограниченной растворимости в стали. Метод испытаний различает уровень дефектности и типы включений на основании морфологического типа, т. е. по размеру, форме, концентрации и распределению.

Включения классифицируются на четыре категории на основании их морфологии и на две подкатегории на основании их ширины или диаметра. Категории тип А-сульфид, тип В-глинозем, тип С-силикат и тип D-шаровидный оксид определяют форму включений, тогда как категории «толстый» и «тонкий» описывают их толщину [4]*.

К сульфидам относятся пластичные, вытянутые по направлению волокна отдельные включения или группы включений, как правило, двойного сульфида железа или марганца. К включениям типа глинозем-корунд (оксиды алюминия), шпинель (оксид магния и алюминия) относятся включения в виде отдельных частиц или разрозненных групп, разрушенных в процессе деформации. Включения типа силикаты – это пластично деформированные включения силикатов или силикатных стекол, вытянутые по

* ASTM E45 «Стандартные методы исследования для определения содержания неметаллических включений в стали».

направлению волокна. Шаровидные оксиды (глобули) – тип включений недеформирующихся, глобулярных, единичных или групповых округлых, или неправильной формы силикатов, или силикатного стекла, а также оксидных включений, чаще корунда.

Исследования проводили путем изучения образцов под оптическим микроскопом. В табл. 2 приведены типы и баллы обнаруженных включений (оценка).

Т а б л и ц а 2. Оценка неметаллических включений, стан 850

Значения	Неметаллические включения, балл							
	А тонкие	А толстые	В тонкие	В толстые	С тонкие	С толстые	Д тонкие	Д толстые
Опытные плавки (8 плавок)								
Средние	0.6	0.4	0.6	0.3	0	0	0.9	0.5
Максимальные	1	0.5	1	1	0	0	1	0.5
Сравнительные плавки (235 плавок)								
Средние	0.9	0.5	0.5	0.2	0.0	0.0	0.9	0.5
Максимальные	2	2	2	2	1	1	1.5	2

Из таблицы видно, что средний и максимальный уровень дефектности по включениям категории «А» в опытных плавках ниже, чем в сравнительных; средний уровень дефектности по включениям категории «В» в опытных плавках выше, чем в сравнительных, однако максимальный уровень ниже; средний уровень дефектности по включениям категории «Д» в опытных и сравнительных плавках находится на одном уровне, однако максимальный уровень ниже.

Также следует отметить, что такие включения, как силикаты, тип «С», в опытных плавках не обнаружены.

Плавки, прокатанные на стане 370/150

Выборка данных по загрязненности неметаллическими включениями опытных и промышленных плавок, прокатанных на стане 370/150 за одинаковый период времени, составила: опытных – 17, сравнительных – 21. В табл. 3 приведены результаты испытаний плавок по загрязненности неметаллическими включениями согласно DIN 50 602, метод К (регистрация всех неметаллических включений начиная с определенного размера включений с указанием степени чистоты плавки «К»). Расчет суммарных параметров проводится следующим образом: количество обнаруживаемых включений каждого типа и каждого размерного параметра умножается на соответствующий фактор, произведения суммируются, как правило, отдельно по сульфидам и общему содержанию оксидов. Оба суммарных параметра указывают на степень чистоты испытываемых плавок*.

Необходимо обратить внимание, что расчетный коэффициент К3 определяет более высокие требования по загрязненности металла неметаллическими включениями, чем коэффициент К4.

Исследования проводили путем изучения образцов под оптическим микроскопом.

Т а б л и ц а 3. Оценка неметаллических включений стан 370/150

Плавка	Диаметр	Марка стали	Коэффициент загрязнения, мкм			
			К3		К4	
			оксиды	сульфиды + оксиды	оксиды	сульфиды оксиды
Опытные плавки (17 плавок)						
304090	40	41Cr4	0	-	-	-
304090	30	41Cr4	0	0	-	-
304090	24	41Cr4	0	0	-	-
304090	45	41Cr4	-	-	-	0
304091	28	41Cr4	0	-	-	-
304091	27	41Cr4	0	-	-	-
304091	40	41Cr4	0	-	-	0
304091	22	41Cr4	0	0	-	-

* DIN 50 602 «Методы металлографических исследований. Исследование под микроскопом спецсталей с использованием стандартных диаграмм для оценки содержания неметаллических включений».

Плавка	Диаметр	Марка стали	Коэффициент загрязнения, мкм			
			К3		К4	
			оксиды	сульфиды + оксиды	оксиды	сульфиды + оксиды
304092	70	40X	0	-	-	-
304092	20	41Cr4	0	0	-	-
304199	27	42CrMo4-7	0	-	-	-
304199	40	42CrMo4-7	0	-	-	-
304199	38	42CrMo4-7	2	-	-	2
304199	22	42CrMo4-7	0	0	-	-
304200	30	42CrMo4	0	0	-	-
304200	50	42CrMo4	0	0	-	-
304200	55	42CrMo4-7	0	-	0	-
Сравнительные плавки (21 плавка)						
217768	35	41Cr4	-	7	-	-
304806	28	41Cr4	0	0	-	-
399469	50	41Cr4	-	-	0	14
399469	60	41Cr4	-	-	0	13
217498	80	42CrMo4	-	-	-	0
217503	80	42CrMo4	-	-	-	0
217505	80	42CrMo4	-	-	0	9
217519	60	42CrMo4	0	-	-	-
217674	80	42CrMo4	1	-	-	-
217504	80	42CrMo4-7	-	-	-	0
217519	60	42CrMo4-7	-	-	-	0
217522	60	42CrMo4-7	-	-	-	0
217523	60	42CrMo4-7	-	-	-	2
217671	60	42CrMo4-7	-	-	-	0
217672	60	42CrMo4-7	-	-	-	12
217673	80	42CrMo4-7	-	-	-	0
217674	80	42CrMo4-7	-	-	-	3
218298	45	42CrMo4-7	-	-	-	10
218299	60	42CrMo4-7	-	-	-	22
218299	50	42CrMo4-7	-	-	-	21
303339	38	42CrMo4-7	-	-	-	2

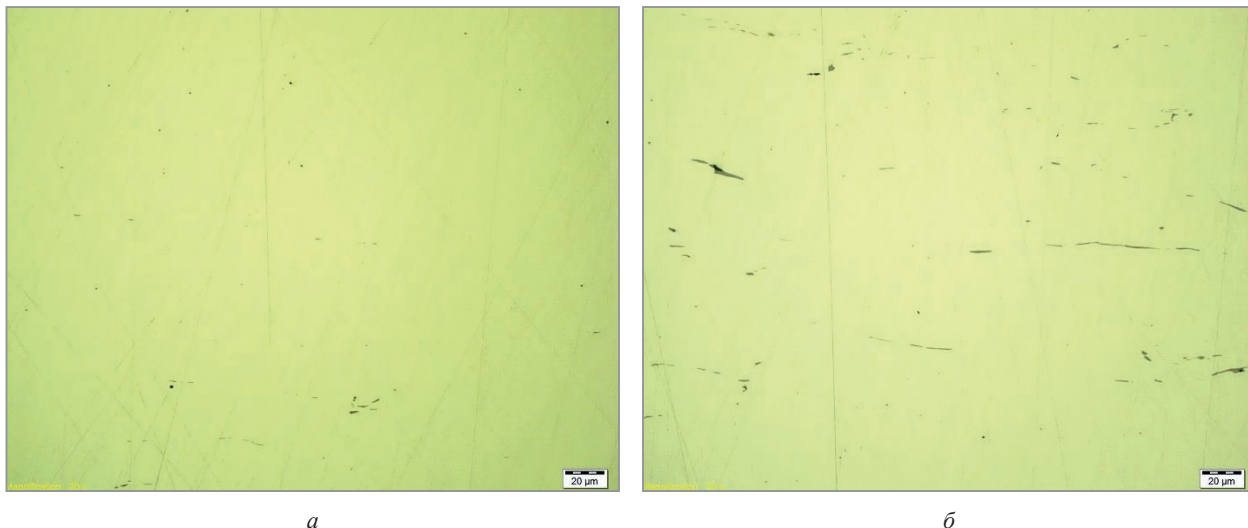
Из табл. 3 следует, что рассчитанные суммарные параметры (коэффициенты) плавов с использованием карбида кальция второго сорта по ГОСТ 1460–81 для раскисления расплава (опытные плавки) при его выпуске из ДСП в стальковш ниже, чем при использовании алюминия вторичного чушкового марки АВ87 по ГОСТ 295-98 (сравнительные плавки). Коэффициенты в сравнительных плавках показывают, что содержание неметаллических включений в виде сульфидов и оксидов намного выше.

На рисунке показаны максимальные размеры типов включений в опытных и сравнительных плавках.

Выводы

В результате проведенной работы на предприятии разработана и освоена технология раскисления стали карбидом кальция при выпуске расплава из сталеплавильного агрегата.

Установлено, что усвоение кремния и марганца из ферросплавов на опытных плавках с использованием карбида кальция второго сорта по ГОСТ 1460-81 ниже, чем на сравнительных плавках с использованием алюминия вторичного марки АВ87 по ГОСТ 295-98 и является следствием недостаточного раскисления расплава опытных плавов перед присадкой ферросплавов. Улучшение раскисления расплава на плавках с использованием карбида кальция может быть достигнуто увеличением его расхода. В свою очередь использование карбида кальция второго сорта по ГОСТ 1460-81 для раскисления расплава при его выпуске из ДСП в стальковш взамен алюминия вторичного чушкового марки АВ87 по ГОСТ 295-98 способствует снижению загрязненности проката неметаллическими включениями. Также преимуществом



Максимальные размеры неметаллических включений в виде сульфидов и оксидов в плавках:
 а – опытные; б – сравнительные. $\times 200$

является использование карбида кальция при производстве низкокремнистых марок стали, где использование алюминия вторичного марки АВ87 ограничено наличием в его составе до 5 % кремния.

Предприятие продолжает исследовательские работы по совершенствованию технологии выплавки, доводки разливки стали для производства высококачественной конкурентоспособной продукции, востребованной потребителями на внешних и внутренних рынках металлопродукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Попов, А. В.** Разработка и внедрение технологии внепечной обработки стали с применением карбида кальция в условиях ЭСПЦ ЧерМК ОАО «Северсталь»: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Попов. – М., 2008.
2. **Грудницкий, О. М.** Опыт использования карбида кальция для раскисления стали взамен алюминия в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / О. М. Грудницкий // *Литье и металлургия*. – 2020. – № 2. – С. 53–58.
3. **Кнюппель, Г.** Раскисление и вакуумная обработка стали. Ч. П. Основы и технологии ковшевой металлургии. М.: Металлургия, 1984. – 414 с.

REFERENCES

1. **Popov A. V.** *Razrabotka i vnedrenie tehnologii vnepechnoj obrabotki stali s primeneniem karbida kal'cija v uslovijah JeSPC CherMK OAO "Severstal"*: Diss. kand. tehn. nauk [Development and implementation of technology for extra-furnace steel treatment using calcium carbide in the conditions of the ESWP of CherMK of OAO Severstal. kand. tehn. sci. diss.]. Moscow, 2008.
2. **Grudnickij O. M.** *Opyt ispol'zovanija karbida kal'cija dlja raskislenija stali vzamen aljuminija v uslovijah OAO "BMZ – upravljajushhaja kompanija holdinga "BMK"* [The experience of using calcian carbone for deoxidotian of steel to replace aluminium in the conditions of OJSC "BSW - management company of the Holding "BMC"]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 2, pp. 53–58.
3. **Knjuppel' G.** *Raskislenie i vakuumnaja obrabotka stali. Ch .P. Osnovy i tehnologii kovshevoj metallurgii* [Deoxidation and vacuum treatment of steel. Ch. P. Fundamentals and technologies of ladle metallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1984, 414 p.