



The carried out work on investigation of the possibility of using of silicon carbide for the steel deoxidation and alloying showed that using of silicon carbide is economically expedient on medium-carbon, high-carbon and cord types of steel.

М. Е. КОНТАНИСТОВ, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, РУП «БМЗ»

УДК 669

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ

Находящийся в динамике рынок металлургического сырья вынуждает сталеплавыльщиков постоянно корректировать расход и вид материалов для раскисления и, как следствие, совершенствовать технологию выплавки и внепечной обработки.

Производство кордовой стали

Комплексная технология производства стали для металлокорда в условиях БМЗ осуществляется в сверхмощной 100-тонной электродуговой печи (ДСП), обрабатывается на установке внепечной обработки металла и разливается на машине непрерывной разливки (МНЛЗ) в блюмы сечением 250х300 мм.

Шихтовка плавов состоит из “чистого” по примесям цветных металлов металлолома и металлизированных окатышей. В печи происходит плавление и обезуглероживание расплава. Выпуск плавов из ДСП происходит при содержании углерода в металле не более 0,20 %. В процессе выпуска металла и доводке по химическому составу на УВОС использовали опытный материал ККМ-88 карбида кремния (марки ОАО «Волжский абразивный завод», г. Волжский, Волгоградская обл). Содержание оксида алюминия в карбиде кремния было наименьшим и составляло 0,3–0,7%, который частично или полностью заменял ферросилиций и науглероживатель. Химический и фракционный состав опытного карбида кремния приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический и фракционный состав опытного материала

Партия	Химический состав, %				Фракционный состав, %			
	SiC	C _{общ}	W _p	Al ₂ O ₃	<0,125 мм	0,125–0,5 мм	0,5–5,0 мм	>5,0 мм
От 15.10.2002	96,8	29,0	Отс.	-	97,3			2,7
От 20.02.2003	88,6	30,3	0,5	0,3	4,5	18,7	76,8	
От 12.03.2003	91,8	-	Отс.	-	0,6	5,0	94,4	
От 31.03.2003	90,8	-	0,5	0,7	5,0	19,3	72,4	3,3
От 14.04.2003	91,5	31,8	1,6	1,6	0,3	7,7	76,1	16,0
От 14.07.2003	89,0	-	Отс.	1,0	0,1	0,3	76,4	23,2
ТУ 3989-026-00220931-01	н.м. 88	-	н.б. 1,0	-	Остаток на сетке 10 мм не более 10 % Проходит через сетку 500 мкм не более 50 %			

Поставленный карбид кремния соответствует требованиям ТУ, при этом содержание Al₂O₃ от партии к партии составляет от 0,3 до 1,7 %.

В апреле-июле 2003 г. в ЭСПЦ-2 с использованием опытного карбида кремния было произведено 35 плавов из сталей 70К, 70РМЛ, три плавки из стали 75РМЛ и 13 плавов из стали 80К.

Для раскисления стали при выпуске в стальковш присаживали карбид кремния (190–310 кг), науглероживатель типа «А» (114–176 кг) и FeMn78 (480–660 кг). Содержание углерода после выпуска составило в среднем 0,24% и изменялось в пределах 0,17–0,32%, содержание кремния составило в среднем 0,09% и изменялось в пределах

0,04–0,19%. При доводке стали по химическому составу на установке РН (циркуляционный вакууматор) расход науглероживателя составил 264–642 кг, карбида кремния – 110–270 кг. Коэффициент усвоения кремния из карбида кремния на установке РН составил в среднем 0,85, углерода из карбида кремния и науглероживателя – 0,92 %, коэффициент усвоения углерода только из карбида кремния – 1. На 16 из 51 кордовых плавках опытный материал присаживали только на выпуск (170–205 кг), а при доводке плавки на вакууматор РН использовали FeSi75. Средние значения плотности неметаллических включений на кордовых плавках при различных вариантах присадки опытного материала приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средние значения плотности на опытных и сравнительных плавках

Плотность включения вкл./см ²			Максимальный размер неметаллических включений, мкм	Распределение по размерам, %										Химический состав, %			
				1–2 мкм		3–4 мкм		5–6 мкм		7–8 мкм		>=9 мкм		А	В	С	
мин.	макс.	средн.		всего	С	всего	С	всего	С	всего	С	всего	С				
Карбид кремния на выпуск + RH																	
302,2	526,8	384,7	5,0	87,9	1,0	10,6	0,2	1,0	0,3	0	0,3	0	0,1	0	53,7	45,2	1,1
Карбид кремния на выпуск																	
267,9	547,2	391,4	5,7	85,4	0,1	11,4	0,4	2,7	0	0,7	0,3	0,5	0,2	45,9	53,1	1,1	
Карбид кремния с содержанием 0,3% Al ₂ O ₃																	
184,6	393,3	245,7	4,6	91,8	0,2	7,3	0	1,1	0	0,7	0	0	0	53,5	46,3	0,2	
Карбид кремния с содержанием 0,7% Al ₂ O ₃																	
353,9	620,8	467,2	5,8	84,4	0,6	13,0	0,4	1,8	0	0,4	0,1	0,3	0,1	50,5	48,3	1,2	
Сравнительные (за декабрь–март 2003 г.)																	
236,8	532,1	336,9	5,5	91,1	1,2	7,7	0,2	1,0	0	0,2	0	0,5	0	39,9	58,7	1,4	

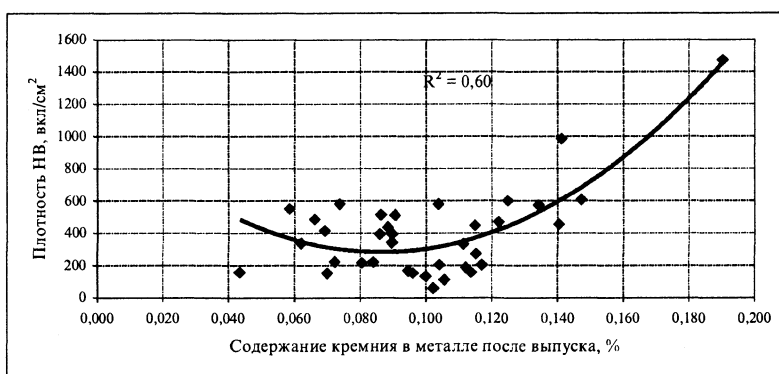
При использовании карбида кремния на выпуске средняя плотность включений (391,4) находится на одном уровне с плавками, на которых он использовался на выпуске и установке RH (384,7) и превышает уровень плотности включений плавки штатной технологии (336,9).

При использовании карбида кремния с содержанием 0,3% Al₂O₃ плотность неметаллических включений ниже (245,7), чем при использовании его с содержанием 0,7% Al₂O₃ (467,2), при этом содержание включений в области «С» также ниже и составляет в среднем соответственно 0,2 и 1,2%.

Из полученных результатов следует, что плотность неметаллических включений в кордовой стали зависит от степени раскисления металла при выпуске плавки из печи.

Зависимость плотности неметаллических включений от содержания кремния в металле после выпуска плавки представлена на рисунке. В качестве величины, косвенно показывающей степень раскисления стали, было принято содержание кремния в металле после выпуска плавки из печи (проба 51), так как из раскислителей для кордовых марок стали он имеет наибольшее сродство к кислороду.

Величина плотности НВ коррелирует с содержанием кремния в 51-й пробе (R²=0,6). Уменьшение плотности НВ происходит при снижении степени раскисления стали при выпуске и достигает наименьших значений при содержании кремния 0,08–0,10%. При дальнейшем уменьшении степени раскисления плотность НВ находится на одном уровне. Это объясняется тем, что при внепечной обработке отдается большее количество материалов и образующиеся неметаллические включения не удаляются до момента кристаллизации стали.



Зависимость плотности неметаллических включений от содержания кремния в металле после выпуска плавки из печи

Производство стали рядового сортамента

При выплавке сталей рядового сортамента опытный материал использовали на выпуске плавки из печи. Средние значения расхода присаживаемых материалов по маркам стали приведены в табл. 3.

При производстве одной из плавки стали марки С38D доводку по химическому составу на установке «печь-ковш» производили с присадкой 30 кг карбида кремния. Химический состав показал, что содержание углерода и кремния не изменилось. Это свидетельствует о раскислении шлака. Коэффициенты усвоения кремния и углерода из материала ККМ-88 при выпуске на опытных плавках составляли соответственно 0,85 и 1,00.

Экономическое обоснование

По проведенной работе был выполнен расчет стоимости раскисления и легирования стали с использованием карбида кремния и сравнительных плавки штатной технологии. Для расчета удельной стоимости были взяты средние значения удельных расходов раскислителей по маркам стали. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 3. Средние значения расхода материалов по маркам стали

Марка стали	Раскислители и легирующие, кг							Масса годного
	FeMn 78	FeSi 65	SiC	SiMn 17	алюминий вторичный	группа типа «С»	проволока порошковая с углеродным наполнителем	
ЭСПЦ-1								
C38D	161,7	80,9	315,6	664,9	33,4	254,6	40,8	106,3
35ГС	43,7	311,9	866,0	1508,7		87,6	5,0	109,0
ЭСПЦ-2								
460В	12,9	265,5	234,6	750,4	51,2	109,0	4,6	103,5

Таблица 4. Средние значения удельных расходов раскислителей

Марка стали	Показатель	Опытные плавки раскислители и легирующие, кг									Масса годного, т
		FeMn 78	FeSi 65	FeSi 75	SiC	SiMn 17	алюминий вторичный	науглероживатель	науглероживатель ГУ	проволока порошковая с углеродным наполнителем	
ЭСПЦ-1											
C38D	Расход	161,7	80,9	-	315,6	664,9	33,4	254,6	-	40,8	106,3
	Удельный	1,52	0,76	-	2,97	6,25	0,31	2,39	-	0,38	
35ГС	Расход	43,7	311,9	-	866,0	1508,7	-	87,6	-	5,0	109,0
	Удельный	0,40	2,86	-	7,94	13,84	-	0,80	-	0,05	
ЭСПЦ-2											
460В	Расход	12,9	265,5	-	234,6	750,4	51,2	79,0	30,3	4,6	103,5
	Удельный	0,12	2,57	-	2,27	7,25	0,49	0,76	0,29	0,04	
70К Выпуск	Расход	832,1	-	243,1	219,3	-	-	-	55,0	43,9	105,5
	Удельный	7,89	-	2,30	2,08	-	-	-	0,52	0,42	
70К Выпуск+ RH	Расход	753,9	-	9,6	442,8	-	-	-	85,3	42,2	103,8
	Удельный	7,26	-	0,09	4,27	-	-	-	0,82	0,41	
75РМЛ	Расход	825,0	-	274,7	191,7	-	-	-	5,7	58,7	106,9
	Удельный	7,72	-	2,57	1,79	-	-	-	0,05	0,55	
80К Выпуск	Расход	703,3	-	183,0	251,5	-	-	-	47,2	40,8	99,0
	Удельный	7,10	-	1,85	2,54	-	-	-	0,48	0,41	
80К Выпуск+ RH	Расход	746,4	-	44,3	422,1	-	-	-	57,4	65,4	102,4
	Удельный	7,29	-	0,43	4,12	-	-	-	0,56	0,64	
Сравнительные данные раскислители и легирующие, кг											
Марка стали	Показатель	FeMn 78	FeSi 65	FeSi 75	SiMn 17	алюминий вторичный	науглероживатель типа «А»	науглероживатель типа «С»	проволока порошковая с углеродным наполнителем	Масса годного, т	
ЭСПЦ-1											
C38D	Расход	201,6	429,2		705,6			368,0		104,0	
	Удельный	1,9	4,1		6,8			3,5		1,0	
35ГС	Расход	41,7	1000,5		1462,9	28,0		131,9	8,6	105,9	
	Удельный	0,4	9,4		13,8	0,3		1,2	0,1	1,0	
ЭСПЦ-2											
70К	Расход	716,3		400,6			736,1		65,0	102,1	
	Удельный	7,0		3,9			7,2		0,6		
75К	Расход	702,4		406,6			808,2		56,9	104,0	
	Удельный	6,8		3,9			7,8		0,5		
80К	Расход	718,3		378,0			771,8		75,1	102,3	
	Удельный	7,0		3,7			7,6		0,7		
460В	Расход	2,5	376,1		757,3	99,8		112,6	16,3	106	
	Удельный	0,02	3,6		7,2	0,9		1,1	0,2		

Результаты расчета удельной стоимости раскислителей приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты расчета удельной стоимости раскислителей

Марка стали	Удельная стоимость раскисления, \$/т*		Экономия, \$/т
	опытные плавки	сравнительные плавки	
C38D	6,7	7,8	1,1
35ГС	12,5	13,5	1,0
70К, только на выпуске	11,7	12,8	1,1
70К, выпуск+RH	9,0	12,8	3,8
75К, 75РМЛ только на выпуск	11,6	12,9	1,3
80К только на выпуске	11,0	12,8	1,8
80К, выпуск+RH	10,7	12,8	2,1
460В	6,9	6,9	0

* Удельная стоимость приведена в долларах США на 1 т годной стали. Цены на материалы и курс доллара США взяты за май месяц текущего года.

Заключение

Проведенная работа по исследованию возможности использования карбида кремния для раскисления и легирования стали показала, что использование карбида кремния экономически целесообразно на среднеуглеродистых, высокоуглеродистых и кордовых марках стали. Коэффициенты усвоения кремния и углерода из материала ККМ-88 при выплавке всех марок стали в среднем составили соответственно 0,85 и 1,00. При

производстве кордовых марок стали наименьшую плотность неметаллических включений (245,7 вкл/см²) имеют плавки, на которых использовался карбид кремния с содержанием 0,3% Al₂O₃, а плотность НВ достигает наименьших значений при содержании кремния после выпуска в пределах 0,08–0,10%.

Для среднеуглеродистых марок стали опытный материал необходимо присаживать на выпуске, исключая его использование при доводке.