



The matters of using of the powder wire with calcium-silicon filling at out-of-furnace processing of different assortment of steels at RPO "BMZ" are considered.

*В. А. МАТОЧКИН, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, РУП «БМЗ»,
Д. А. ДЮДКИН, В. В. КИСИЛЕНКО, ОАО «Завод «Универсальное оборудование»*

УДК 669.

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ СИЛИКОКАЛЬЦИЕМ СК-40 В УСЛОВИЯХ РУП «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

В современной технологии внепечной обработки стали кальций занимает определяющее значение в связи с многофакторностью его влияния на физико-химическое состояние расплава, макро- и микроструктуру затвердевающей непрерывнолитой заготовки, качество и свойства металлопродукции. В последние годы при производстве высококачественного металла для магистральных газо- и нефтепроводов, судостроения, строительной индустрии, автомобилестроения и т.д. внепечная обработка стали кальцийсодержащими реагентами является неотъемлемой частью технологии.

До последнего времени в мировой металлургической практике силикокальций марки СК-30 являлся наиболее широко используемым сплавом для ввода кальция в сталь. С одной стороны, это обусловлено тем, что такое соотношение компонентов в сплаве (30% Ca и 60% Si) обеспечивает оптимальное сочетание основных теплофизических параметров, влияющих на усвоение кальция — весьма важный технологический и экономический аспект применения порошковой проволоки. Температура плавления такого сплава в соответствии с диаграммой состояния системы Ca—Si повышается до 1100 °С, а упругость паров кальция снижается до уровня, близкого к давлению окружающей среды около поверхности расплава [1]. Таким образом, расширяется область наиболее эффективного взаимодействия жидкого материала наполнителя с компонентами расплава. При регламентированной скорости ввода порошковой проволоки кальций растворяется в металле, не переходя в газообразное состояние. При снижении содержания кальция в наполнителе (СК-15, СК-20) рассмотренные теплофизические параметры, судя по фактическому соотношению кальция и кремния в сплаве, изменяются незначительно. Однако увеличиваются содержание нежелательных примесей в наполнителе и стоимость соб-

ственно кальция в проволоке. Для ввода заданного количества кальция в сталь метраж вводимой проволоки с СК-15 по сравнению с СК-30 должен увеличиться почти вдвое, соответственно увеличиваются время обработки и потери температуры. Очевидно, что в этом случае существенно повышаются затраты на обработку стали.

Также следует отметить, что при производстве силикокальция с содержанием кальция более 30% резко возрастают расходы, при этом возникают трудности с отделением ферросплава от шлака, поэтому все мировые производители, как правило, ограничиваются изготовлением силикокальция марки СК-30.

В то же время в последние годы появилась тенденция использования в определенных условиях силикокальция марки СК40 [2–4]. На ОЭМК усвоение кальция при использовании проволоки с наполнением СК-30 на 14% ниже относительно проволоки с наполнением СК-40, причем сравнивались проволоки одного поставщика, так как на комбинате отмечено, что усвоение кальция при использовании кальцийсодержащей порошковой проволоки от разных производителей различается [2]. При этом в порошковой проволоке используется смесь порошков силикокальция и металлического кальция и необходимое содержание кальция в ферросплаве достигается непосредственно при обработке жидкого железоуглеродистого расплава.

На диаграмме состояния Ca—Si [5] (рис. 1) показаны рассчитанные авторами точки, соответствующие массовому соотношению между кальцием и кремнием в силикокальции СК-30 и СК-40. Высокая эффективность использования СК-40 обусловлена тем, что сплав с содержанием 40% кальция образуется по мере вхождения порошковой проволоки в жидкий металл, при этом реакция образования химически активного соедине-

ния CaSi_2 , как и последующая его диссоциация, происходят с поглощением тепла, что снижает температуру в зоне реакции. Образующийся сплав СК-40 имеет температуру плавления на 85°C выше, чем СК-30. Все это приводит к снижению угара кальция и повышению его усвоения при внепечной обработке стали. Учитывая сказанное выше, а также более высокое содержание кальция

в проволоке, общий расход порошковой проволоки с наполнением СК-40 для достижения одинакового остаточного содержания кальция в металле может быть в 1,4–1,6 раза ниже, чем расход SiCa проволоки с наполнением СК-30, что дополнительно приводит к существенному уменьшению эксплуатационных затрат на обработку проволокой и снижению времени обработки.

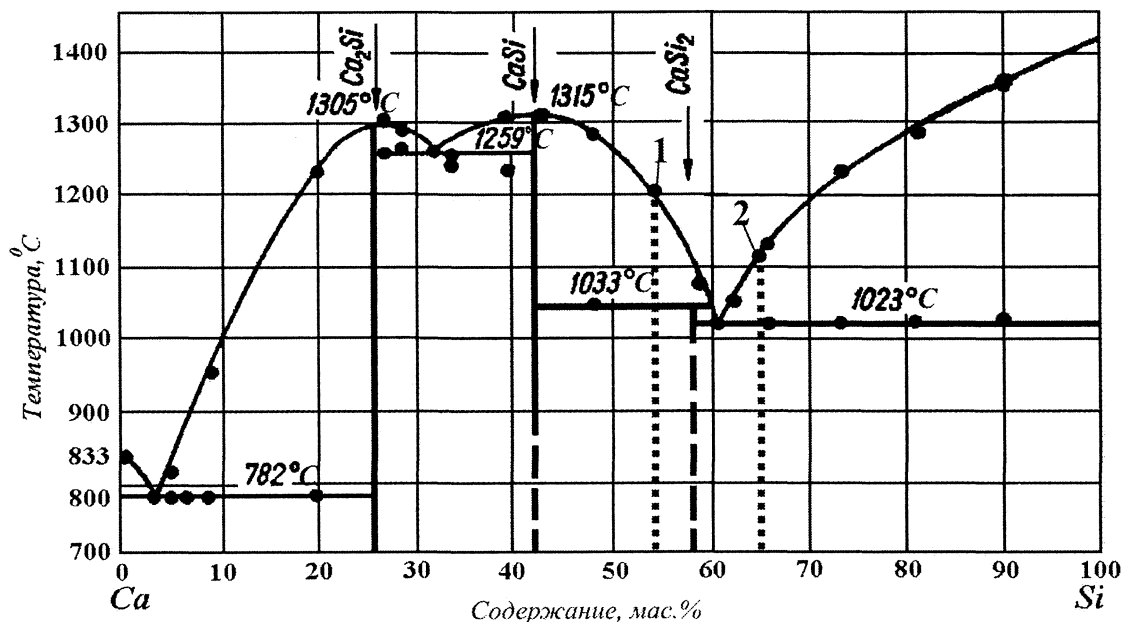


Рис. 1. Диаграмма состояния Ca–Si: 1 – массовое соотношение между кальцием и кремнием в силикокальции СК-40; 2 – массовое соотношение между кальцием и кремнием в силикокальции СК-30

В условиях РУП «Белорусский металлургический завод» силикокальциевой проволокой обрабатывают разнообразный марочный сортамент стали: низко-, средне- и высокоуглеродистые, как раскисленные алюминием, так и без раскисления алюминием, с регламентированным содержанием серы и алюминия, легированные, с низким содержанием кремния и т.д. Технология производства каждой из этих марок различна, предусматривает разнообразные технологические приемы в выплавке, раскислении, внепечной обработке и разливке металла. Порошковая кальцийсодержащая

проволока, в основном с наполнением СК-30, используется для модифицирования неметаллических включений и обеспечения разливаемости металла.

В сентябре–октябре 2005 г. в электросталеплавильных цехах РУП «Белорусский металлургический завод» проведены сравнительные обработки стали порошковой проволокой с наполнением силикокальцием СК-30 и СК-40 производства ОАО «Завод «Универсальное оборудование». Характеристики порошковых проволок приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики силикокальциевых порошковых проволок (диаметр 13 мм)

Наполнитель проволоки	Наполнение, г/м	Содержание кальция, г/м	Коэффициент заполнения, доли	
			проволоки	по кальцию
Силикокальций СК-30	225	67,5	0,569	0,1695
Силикокальций СК-40	214	85,6	0,552	0,2208

Силикокальций СК-40 представлял собой механическую смесь порошков силикокальция СК-30 и металлического кальция.

Порошковую проволоку с наполнением СК-40 присаживали в одинаковых условиях при обработке сталей текущего сортамента – Ст5сп,

A500С, 25Г2С, S235JRG2, Ст40, Ст45, Ст3сп. Расход проволоки с наполнителем СК-40 определяли по нормативной документации с поправочным коэффициентом 0,74 (по массе) или 0,78 (по длине). В качестве сравнительных использовали плавки аналогичного сортамента, обработанные непосред-

ственно перед опытными плавками. Всего за указанный период в ЭСПЦ-1 и ЭСПЦ-2 было использовано 10 т порошковой проволоки с СК-

40, обработано более 300 плавков. Технологические показатели опытных и сравнительных плавков приведены в табл. 2.

Таблица 2. Технологические показатели опытных и сравнительных плавков

Цех	Наполнитель проволоки	Масса металла, т	Расход кальция, кг/т	Содержание кальция на МНЛЗ, ppm	Усвоение кальция, %
ЭСПЦ-1	СК-40	111,5	0,061	10,07	16,52
	СК-30	109,2	0,062	8,41	13,56
ЭСПЦ-2	СК-40	108,5	0,0935	8,36	8,94
	СК-30	107,7	0,089	5,86	6,60

Из таблицы следует, что содержание остаточного кальция на опытных плавках превышает аналогичный показатель сравнительных плавков в ЭСПЦ-1 в среднем на 1,66 ppm или 20%, в ЭСПЦ-2 – в среднем на 2,50 ppm или 43%. Усвоение кальция на опытных плавках также выше, чем на сравнительных в ЭСПЦ-1 на 2,96 абс.% или 22 отн.%, в ЭСПЦ-2 – на 2,34 абс.% или 35% отн.%. Эквивалентный коэффициент модифицирования стали проволокой с наполнителем СК-40 по отношению к проволоке с наполнителем СК-30 в ЭСПЦ-1 составил 0,60, в ЭСПЦ-2 – 0,55. Присадка в жидкий металл проволоки с наполнителем СК-40 на разливаемость металла и показатели качества не повлияла, на опытных плавках отмечено некоторое увеличение выхода годного – 97,5% против 96,9%.

Из представленных в таблице данных обращает на себя внимание разница в усвоении кальция в ЭСПЦ-1 и ЭСПЦ-2. С одной стороны, это можно объяснить различным сортаментом обрабатываемых сталей, разным состоянием и составом жидкого металла (окисленность, $Al_{общ}$, $Al_{окс}$, S, Mn, Si, неметаллические включения), что требует различных подходов к внепечной обработке стали кальцием и расходов проволоки. В ЭСПЦ-1 выплавляется и разливается на двух шестиручьевых сортовых МНЛЗ металл с низким содержанием алюминия ($Al_{общ} \leq 0,005\%$, $Al_{окс} \leq 0,0015\%$). В ЭСПЦ-2 выплавляется в основном сортамент сталей, раскисленных алюминием ($Al_{общ} = 0,015–0,040\%$, $Al_{окс} = 0,0025–0,0045\%$), но иногда в ЭСПЦ-2 также выплавляют сортамент сталей с низким содержанием алюминия для разлива в ЭСПЦ-1. И здесь представляет интерес рассмотреть вопрос усвоения кальция на одинаковом сортаменте сталей, обрабатываемых порошковой проволокой в ЭСПЦ-1 и ЭСПЦ-2 в разных условиях.

Для достижения оптимальных и стабильных результатов обработки расплава порошковыми кальцийсодержащими проволоками должны выдерживаться определенные условия их ввода в расплав с учетом конкретной ситуации применения технологии. Во всех случаях ввода расстояние

между концом направляющей трубы и расплавом в ковше должно быть не более 300–400 мм, проволока должна вводиться в ковш в максимально вертикальном положении. Скорость ввода порошковой проволоки зависит от физико-химических свойств жидкой стали, стальной оболочки и наполнителя. В зависимости от момента расплавления и температуры жидкой стали порошковый наполнитель может перейти в расплав в любом месте ковша. Регулируя скорость ввода проволоки, добиваются того, чтобы расплавление проволоки и высвобождение наполнителя в расплав происходило ниже граничной глубины испарения кальция. Исходя из размеров стальной ванны в электроплавильных цехах РУП «БМЗ», наиболее оптимальной является скорость ввода проволоки 2,8–3,5 м/с, которая обеспечивает проникновение в жидкий металл на глубину 3,0–3,5 м и реакцией взаимодействия с жидким кальцием будет охвачен весь объем металла. При несоблюдении режима скорости ввода оболочка проволоки может расплавиться или очень рано, или очень поздно, проволока изменит направление своего движения к днищу ковша и начнет двигаться вверх по мере разматывания. В обоих случаях высвобождение наполнителя произойдет в верхней части ковша – в зоне испарения кальция и значительная его часть не будет успевать прореагировать в жидком металле, снижая эффективность использования кальция и его усвоение. В ЭСПЦ-1 жидкий металл обрабатывался силикокальциевой проволокой на установке ковш–печь ПК-1 (двухручьевого трайбаппарата), где технологический комплекс по вводу проволоки оборудован телескопическими направляющими, обеспечивающими при обработке расстояние между нижним срезом направляющей трубы и зеркалом металла не более 300–400 мм, в ЭСПЦ-2 – на установке ковш–печь ПК-2, где два одноручьевого трайбаппарата оборудованы стационарными направляющими проводками, и указанное расстояние при обработке иногда составляет более 1 м, что приводило к расплавлению проволоки и высвобождению кальция в верхних слоях металла, снижая эффективность его использования. В табл. 3 при-

ведены показатели использования силикокальциевой проволоки в ЭСПЦ-1 и ЭСПЦ-2 на аналогичном сортаменте (стали с низким содержанием

алюминия – типа СтЗсп, Ст5сп). Состояние и состав металла, параметры обработки были идентичны, кроме системы ввода проволоки.

Таблица 3. Технологические показатели использования силикокальциевой проволоки в ЭСПЦ-1 и ЭСПЦ-2 на аналогичном сортаменте стали

Наполнитель проволоки	Масса металла, т		Расход кальция, кг/т		Содержание кальция на МНЛЗ, ppm		Усвоение кальция, %	
	ЭСПЦ-1	ЭСПЦ-2	ЭСПЦ-1	ЭСПЦ-2	ЭСПЦ-1	ЭСПЦ-2	ЭСПЦ-1	ЭСПЦ-2
СК-40	111,5	108,5	0,061	0,085	10,07	8,67	16,52	10,20
СК-30	109,2	107,5	0,062	0,062	8,41	4,46	13,56	7,19

Как видно из таблицы, усвоение кальция в ЭСПЦ-1 при стабильном вводе проволоки на необходимую глубину на аналогичном сортаменте выше на 62% при использовании СК-40 и на 88,6% – при использовании СК-30 по сравнению с ЭСПЦ-2, где условия ввода не всегда позволяют доставлять проволоку на требуемый уровень глубины расплава.

Необходимо отметить, что относительно низкое остаточное содержание кальция иногда говорит о более высокой чистоте металла по неметаллическим включениям. Например, при одинаковом расходе кальция на обработку и одинаковом его содержании по вводу, в разливочной пробе содержание кальция и, следовательно, неметаллических включений может различаться в 1,5–2,0 раза, что зависит от интенсивности, длительности и вида продувки после ввода, а также состояния ванны перед обработкой. Как уже отмечалось выше, в условиях ЭСПЦ-2 на установке ПК-2 обрабатывается кальцием как сортамент сталей раскисленных алюминием с содержанием $Al_{окс}$ в пределах 0,0025–0,0045%, так и без раскисления алюминием, где содержание $Al_{окс}$ находится в пределах 0,0005–0,0015%. В раскисленных алюминием сталях основная масса оксидных неметаллических включений состоит из включений глиноземного типа, в сталях же не раскисленных алюминием оксидные включения представляют собой различные алюмомарганецсиликатные комплексы. Соответственно базовая технология модифицирования для указанных групп сталей будет различной. В первом случае кальция требуется значительно больше для полного модифицирования включений (путем перевода их в легкоплавкие алюминаты и алюмосиликаты типа $3CaO \cdot Al_2O_3$, $5CaO \cdot 3Al_2O_3$, $12CaO \cdot 7Al_2O_3$, $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) и остаточное его содержание может быть выше. Но в то же время при последующей продувке инертным газом большая часть образующихся включений всплывает в шлак, снижая содержание кальция в металле, поэтому при использовании кальция для модифицирования в одинаковых условиях его ввода и различном сортаменте обрабатываемых сталей основным параметром, определяющим качество проведенной обработки, являет-

ся не общее содержание кальция в стали, а разливаемость металла.

При обработке разных групп сталей кальцийсодержащей порошковой проволокой возможно получение в металле включений разных типов: недеформируемых, повышенной вязкости; жидких недеформируемых; пластичных деформируемых; твердых недеформируемых. Это достигается изменением состава наполнителя проволоки и регламентируемым ее вводом в соответствии с диаграммой фазового состояния системы $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ (рис. 2).

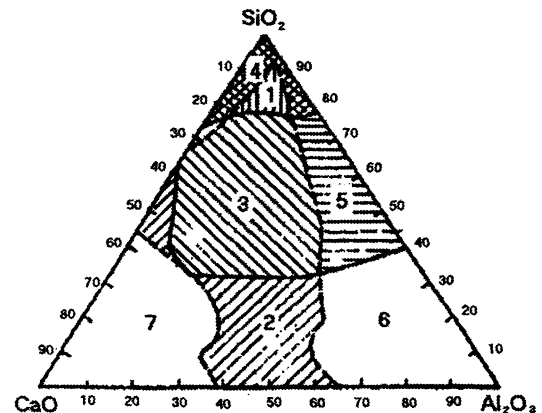


Рис. 2. Диаграмма фазового состояния системы $CaO-Al_2O_3-SiO_2$: 1, 4 – недеформируемые включения повышенной вязкости; 2 – жидкие недеформируемые включения; 3, 5 – деформируемые включения; 6, 7 – твердые недеформируемые включения

Литература

1. Дюдкин Д.А., Бать С.Ю., Гринберг С.Е., Маринцев С.Н. Производство стали на агрегате ковш–печь. Донецк: ООО «Юго-Восток», 2003.
2. Гонтарук Е.И., Фомин В.И., Коршиков С.П. и др. Новая технология внепечной обработки среднеуглеродистой стали, легированной серой и алюминием // Сталь. 2004. № 7. С. 31–33.
3. Дюдкин Д. А., Бать С.Ю., Кисиленко В.В. и др. Пат. 67016.
4. Дюдкин Д. А., Бать С.Ю., Кисиленко В.В. и др. Пат. 2234541.
5. Гасик Л.Н., Игнатъев В.С., Гасик М.И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. Киев: Техника, 1975.