

**Раздел 5 Внепечные способы обработки стали**  
**Тема 5.2. Внепечные способы обработки стали и конструкция агрегатов внепечной обработки стали**

**Лекция № 129**

**Тема: Рафинирования стали синтетическими шлаками. Типы рафинировочных шлаков. Способы обработки стали шлаками**

**План лекции:**

1. Рафинирования стали синтетическими шлаками.
2. Типы рафинировочных шлаков.
3. Способы обработки стали шлаками.

Перемешивание металла со специально приготовленным (синтетическим) шлаком позволяет интенсифицировать переход в шлак тех вредных примесей, которые удаляются в шлаковую фазу (сера, фосфор, кислород). Обработка стали в ковше жидкими синтетическими шлаками, как способ очищения металла от нежелательных примесей, была предложена в 1925 г. советским инженером А. С. Точинским. В 1933 г. способ обработки металла жидкими известково-глиноземистыми шлаками был запатентован французским инженером Р. Перреном.

Практическую проверку прошли четыре разновидности способа обработки металла шлаками:

а) обработка стали жидкими известково-железистыми шлаками с целью снижения содержания фосфора;

б) обработка основной стали кислым 'шлаком' с целью снижения содержания кислорода и оксидных неметаллических включений;

в) обработка стали жидкими известково - глиноземистыми шлаками с целью десульфурации и раскисления металла;

г) обработка металла во время разливки и кристаллизации шлаками различного состава с целью удаления вредных примесей и получения хорошей (поверхности слитка).

На практике широкое распространение получили последние две разновидности способа.

Шлаки с высоким содержанием CaO и добавками  $Al_2O_3$  (для снижения температуры их плавления и обеспечения необходимой жидкотекучести) расплавляют в специальной электропечи и заливают в сталеразливочный ковш при выпуске стали из сталеплавильной печи или из конвертера. При сливке металла на находящийся в ковше синтетический шлак (СШ) обе реагирующие фазы (сталь и шлак) интенсивно перемешиваются.

ваются. Задача при этом заключается в том, чтобы обеспечить в процессе обработки максимальную величину межфазной (поверхности).

Расход синтетического шлака относительно невелик: 3—6% от массы металла. При относительно малом количестве шлака легче обеспечить стандартность его состава и свойств. Поэтому обработка стали (с некоторыми неизбежными колебаниями состава и свойств от плавки к плавке) синтетическим шлаком строго стандартного состава температуры позволяет решать очень важную задачу выпуска надежной и стандартной продукции. Дополнительные затраты на получение синтетического шлака окупаются теми выгодами, которые получает народное хозяйство, используя более качественную сталь.

Основное требование, предъявляемое к синтетическим известково-глиноземистым шлакам, — минимальная окисленность (это обеспечивает хорошие условия для раскисления стали и ее десульфурации) и максимальная активность СаО (это обеспечивает хорошие условия для десульфурации). Поэтому в синтетических известково-глиноземистых шлаках не должно содержаться окислов железа вообще, а содержание кремнезема должно быть минимальным. Понятно, что наличие фосфора в таких шлаках исключается, так как при обработке он перейдет в металл. В тех случаях, когда в шихте, из которой плавят шлак содержится некоторое количество кремнезема, в состав шлака вводят магнезию, образующую силикаты магнезия и уменьшающую, таким образом, вредное воздействие кремнезема, снижающего активность СаО.

Обычный состав синтетического шлака, используемого на заводах (по технологии ЦНИИЧМ), следующий, %: 50—55 СаО; 37—43  $Al_3O_3$ ; <7  $SiO_2$ ; 7 MgO. Температура плавления шлака в зависимости от состава меняется от — 1400°C (в шлаке 50—55% СаО, 38—43%  $Al_3O_3$  и <4,0%  $SiO_2$ ) до - 1300°C (в шлаке до 6—7%  $SiO_2$  и 6—7% MgO).

При обработке таким шлаком металла протекают следующие процессы:

1) десульфурация. Обычно после обработки шлаком содержание серы в металле снижается до 0,002—0,010%;

2) раскисление; поскольку в синтетическом шлаке величина (FeO) ничтожно мала, окисленность металла снижается (в 1,5—2 раза);

3) удаление неметаллических включений. В тех случаях, когда величина межфазного натяжения на границе капля синтетического шлака — неметаллическое включение  $\sigma_{\text{ш-нв}}$  меньше, чем величина межфазного натяжения на границе металл — неметаллическое включение  $\sigma_{\text{ме-нв}}$ , т. е. тогда когда  $\sigma_{\text{ш-нв}} < \sigma_{\text{ме-нв}}$  капли синтетического шлака будут очищать металл от включений, будут всплывать вверх, унося с собой неметаллические включения. Соотношение между величинами  $\sigma_{\text{ш-нв}}$  и  $\sigma_{\text{ме-нв}}$  зависит от состава

включений. Для того чтобы капельки шлака сами легко отделялись от металла и всплывали, необходимо подбирать такие шлаки, величина межфазного натяжения которых на границе с металлом  $\sigma_{\text{Me-шв}}$  после окончания обработки металла была бы максимальной. Практика показала, что общее содержание неметаллических включений после обработки синтетическим шлаком уменьшается примерно в два раза.

Большим достоинством способа обработки стали синтетическим шлаком является ее кратковременность. Вся операция полностью осуществляется за время выпуска (слива) металла из агрегата в ковш, т. е. за несколько минут; производительность агрегатов при этом не только не уменьшается, но даже возрастает, так как такие технологические операции, как десульфурация и раскисление, (переносятся в ковш).

При обработке металла шлаком (приходится учитывать ряд моментов:

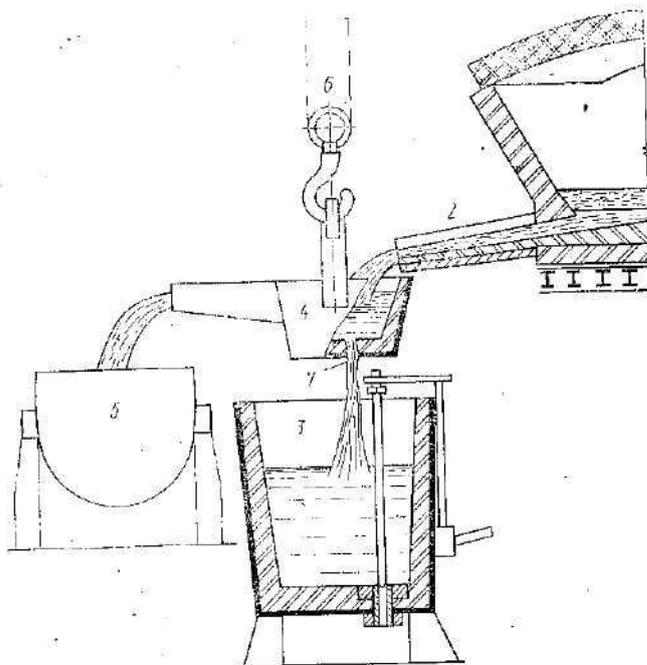
1) нежелательность попадания в ковш,<sup>1</sup> аз котором производится обработка, вместе с металлом также и шлака из течи или из конвертера;

2) необходимость введения в ковш, помимо синтетического шлака, также и раскислителей (а при выплавке легированных сталей также и легирующих материалов);

3) изменение в процессе обработки состава шлака. Особенно трудной в осуществлении является задача стечки шлака при выпуске металла из мартеновской печи. На рис. изображен один из вариантов решений по отсечке шлака. Над разливочным ковшом установлен промежуточный ковш с желобом, через который выходящий вместе с металлом из печи шлак перетекает в шлаковую чашу.

Сама обработка синтетическим шлаком позволяет несколько уменьшить окисленность металла, однако не настолько, чтобы (полностью отказаться от применения раскислителей. Поэтому, помимо шлака, в ковш вводится необходимое количество раскислителей. Учитывая низкую плотность ферросилиция, необходимое его количество загружают на дно ковша еще до заливки в ковш синтетического шлака. После выпуска плавки на струю падающей в ковш стали присаживаются такие материалы, как ферромарганец и феррохром. Вслед за этим присаживают сплавы, содержащие титан, ванадий, цирконий и т. д. Аллюминий вводят в глубь ковша па штангах после окончания выпуска плавки.

В процессе перемешивания металла со шлаком состав шлака претерпевает определенные изменения. Эти изменения связаны со следующим: а) (при перемешивании шлак взаимодействует с футеровкой ковша, часть футеровки (обычно состоящей из  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) переходит в шлак; б) из металла удаляется и переходит

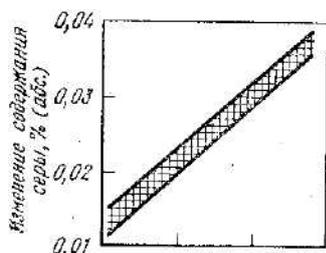


1 — сталеплавильный агрегат; 2 — жалоб; 3 — ковш с синтетическим шлаком; 4 — промежуточная емкость для отделения печного шлака; 5 — шлаковая чаша; 6 — траверса уборочного крана; 7 — струя металла

Схема устройства для отделения шлака.

в шлак сера (в виде  $\text{CaS}$ ); в) вводимые в ковш раскислители частично окисляются, образующиеся окислы ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ) переходят в шлак; г) какая-то часть конечного шлака все же обычно попадает в ковш; содержащиеся в конечном шлаке окислы железа переходят в шлак, находящийся в ковше и затрудняют протекание процессов раскисления и особенно опасно попадание в ковш конечного шлака из-за содержащегося в «см фосфора: в процессе раскисления почти весь фосфор, содержащийся в конечном шлаке восстанавливается и переходит в металл. «Разбавление» синтетического шлака в результате всех этих процессов может достигать 30-40%. Однако в том случае, когда определенная доля конечного шлака все же попадает в ковш, воздействие синтетического шлака на падающий в ковш металл даже за те несколько минут, которые продолжается выпуск, оказывается положительным и обеспечивает заметное улучшение состава и свойств металла.

Обработка металла синтетическим шлаком широко используется и в мартеновских, и в конвертерных цехах.



На показано, что по мере увеличения содержания серы в металле перед выпуском из мартеновской печи возрастает и количество серы, удаленной при обработке стали шлаком в ковше.

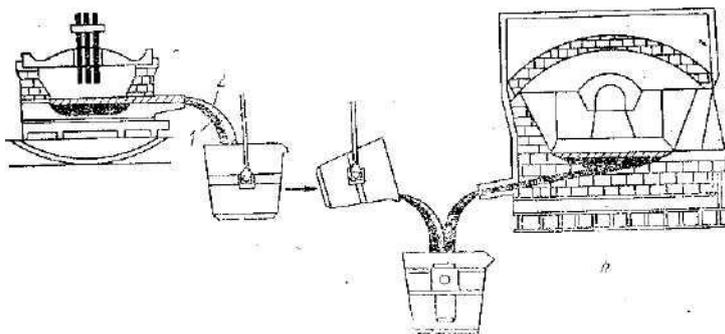
Схема. Эффективность удаления серы в зависимости от ее исходного содержания в металле перед выпуском из мартеновской печи (в результате обработки металла о ковше жидким известково-глиноземистым шлаком)

Лучшее удаление отмечается при увеличении высоты падения струи металла (возрастает мощность перемешивания) и использовании для обработки жидкоподвижного шлака. Температура шлака должна быть около  $1600^{\circ}\text{C}$ , что связано с необходимостью иметь шлак минимальной вязкости и опасением охладить смешивания металла со шлаком при выпуске не позволяет использовать десульфуризирующую способность синтетического шлака полностью. Поэтому обработка синтетическим шлаком часто дополняется продувкой металла в ковше инертным газом.

Другим примером более полного использования шлака для очищения металла от примесей может служить способ вакуум-шлаковой обработки. При этом способе ковш с жидким шлаком помещают в вакуумную камеру и сверху на этот слой шлака из другого ковша льется струя металла. Под влиянием вакуума шлак в ковше вспенивается, а струя разбивается на мельчайшие капли. В результате обеспечивается увеличение поверхности контакта металл — шлак.

Разновидностью метода обработки стали жидким синтетическими является так называемый метод смешения, когда в сталеразливочном ковше одновременно смешиваются и сталь, и синтетический шлак, и жидкая лигатура (расплавленные ферросплавы). В СССР метод смешения в сталеразливочном ковше полупродукта с жидкой лигатурой с одновременной обработкой синтетическим шлаком используется для производства высококачественной шарикоподшипниковой стали. Например, полупродукт состава  $\sim 0,35\% \text{C}$ ,  $\sim 0,10 \text{Mn}$  и следы  $\text{Si}$  выплавляют в 100-т мартеновской печи. Лигатуру состава: —  $3,2\% \text{C}$ ;  $0,6\text{—}2,0\% \text{Mn}$ ;  $1,3\text{—}3,4\% \text{Si}$  и  $6,0\text{—}6,5\% \text{Cr}$  получают в -18-т дуговой электропечи. Соотношение масс полупродукта и лигатуры (3-н4):1. Малоуглеродистый полупродукт, не содержащий практически марганца и кремния, то отношению к составу лигатуры переокислен. Поэтому в момент смешения происходит быстрое раскисление полупродукта углеродом, содержащимся в лигатуре, с образованием газообразных продуктов

раскисления, полностью удаляющихся из расплава. Все это происходит одновременно с воздействием на расплав залитого в ковш синтетического шлака, благодаря чему обеспечивается очищение металла от серы и неметаллических включений. В результате из 100-т мартеновской печи получают 120 т высококачественной стали. Иногда плавку лигатуры совмещают с расплавлением синтетического шлака, т. е. в одной электропечи плавят и лигатуру, и необходимое количество синтетического шлака; полученные таким образом лигатуру и шлак сливают в ковш, куда затем выпускают плавку из мартеновской печи или конвертера. Такой процесс называют совмещенным



- а — выпуск жидкого, сплава и синтетического шлака;
- б — перемешивание жидкого сплава и синтетического шлака с металлом;
- 1 — лигатура;
- 2 — шлак

Схема совмещенного процесса раскисления, легирования и рафинирования стали:

Такие способы, как метод смешения или совмещенный процесс, позволяют обеспечить производство в мартеновском или конвертерном цехе высококачественной стали и с использованием относительно простого оборудования. Общим в том, и в другом случаях является использование синтетического шлака как доступного способа снижения содержания в стали серы и неметаллических включений и соответствующего повышения качества и надежности металла.

В тех случаях, когда то условиям производства нет возможности разместить оборудование для расплавления синтетического шлака, используют метод обработки металла на выпуске твердыми синтетическими смесями. Обычно в состав таких смесей вводят  $\text{CaO}$  и  $\text{CaF}_2$ . Расход смесей колеблется от 3 до 10 кг/т стали. И в этом случае наилучшие результаты то десульфурации и получению стали с минимальным содержанием неметаллических включений получают при одновременном

воздействии на металл десульфурующей синтетической смеси и раскислителей.

Чаще других используются два технологических приема:

- 1) подача на струю металла порошка, состоящего из извести, плавикового шпата и алюминия;
- 2) присадка десульфурующей смеси, состоящей из извести и плавикового шпата, на дно ковша перед выпуском плавки; при этом одновременно на дно ковша присаживается все требуемое для раскисления количество ферросилиция.

Температура металла при использовании для десульфурации синтетических смесей в твердом виде должна быть выше обычной на 10—15°C. В некоторых случаях для облегчения условий быстрого образования активного шлака ковш во время выпуска покачивают или перемещают вперед и назад.

Особенности принятой технологии:

- 1) подача всего количества десульфурующей смеси плюс всего количества ферросилиция на дно ковша;
- 2) (повышение температуры металла на выпуске на 10—12°C;
- 3) покачивание или (перемещение ковша во время выпуска;
- 4) предотвращение, насколько это возможно, попадания в ковш (конвертерного) шлака.

Оптимальный расход смеси 5—6 кг/т стали. Обработка таким методом стали с повышенным содержанием углерода позволяет снизить содержание серы (по сравнению с последней пробой из конвертера) почти вдвое; при обработке менее углеродистого металла (ванна более окислена) степень десульфурации уменьшается

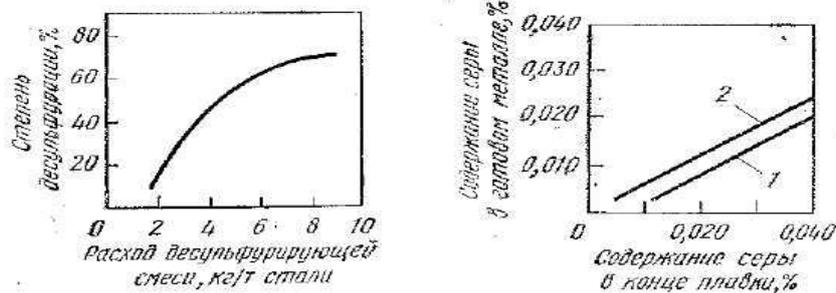


Рис. Зависимость степени десульфурации от расхода десульфурующей смеси. Обрабатывалась раскисленная кремнием сталь, содержание углерода на выпуске 0,30—0,35%

Рис. Соотношение между содержанием серы в металле в последней пробе перед выпуском и в готовом металле при введении на дно ковша одновременно десульфурующей смеси и количестве 5,5 кг/т стали и

раскислителей (ферросилиция с расчетом ввода в металл 0,20% Si и 0,030% алюминия):

1 — конечное содержание углерода 0,70%; 2 — конечное содержание углерода 0,20%

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Какой расход синтетического шлака ?
2. Требования предъявляемые к синтетическим шлакам?
3. Назовите состав синтетического шлака?
4. Достоинства способов обработки стали?
5. Какие изменения происходят в процессе перемешивания металла с синтетическим шлаком?
6. Расскажите о методе смешивания?
7. Назначение лигатур?
8. Охарактеризуйте схему устройства для отсекания шлака?
9. Какие два технологических приема использованы чаще всего?

### **Использованная литература:**

Кудрин «Металлурги стали» 345 – 353