

УДК 669.18

*к.т.н. Романчук А.Н.,  
к.т.н. Кравченко В.М.,  
аспирант Романчук Я.А.  
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОРАЦИИ МЕТАЛЛА ПРИ ВЫПЛАВКЕ НИЗКОФОСФОРИСТОЙ СТАЛИ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ**

*Наведені результати досліджень впливу глибокого зневуглицювання на дефосфорацію металу в конверторах. Отримані залежності ступеню дефосфорації металу від хімічного складу металу і шлаку перед випуском.*

***Ключові слова:** дефосфорація, зневуглицювання, киснево-конверторний процес, ступінь дефосфорації, лужність шлаку.*

*Приведены результаты исследований влияния глубокого обезуглероживания на дефосфорацию металла в конверторах. Получены зависимости степени дефосфорации металла от химического состава металла и шлака перед выпуском.*

***Ключевые слова:** дефосфорация, обезуглероживание, кислородно-конвертерный процесс, степень дефосфорации, основность шлака.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Проблема дефосфорации металла в конверторах решается в начале и конце продувки металла. Поэтому оптимизация режима дефосфорации на завершающем этапе продувки представляет научный и практический интерес.

**Постановка задачи.** Исследовать влияние глубокого обезуглероживания металла на динамику удаления фосфора при выплавке низкоуглеродистых марок стали.

**Изложение материала и его результаты.** Сталеплавильный комплекс ПАО «АМК» включает два конвертера комбинированного дутья емкостью по 300 т, двухпозиционную установку «ковш печь» (УКП) и две слябовых МНЛЗ общей производительностью 5,0 млн. т заготовок в год..

Комплекс ориентирован на производство современного сортамента, содержащего не более 0,020-0,015% фосфора в готовой стали. С учетом рефосфорации (до 0,005-0,010%) при раскислении и легировании

стали и обработке на У КП, остаточное содержание фосфора в металле перед выпуском его из конвертера должно быть не более 0,010%.

С целью обеспечения заданной дефосфорации металла в процессе окислительного рафинирования предусмотрено, что содержание фосфора в передельном чугуна не должно превышать 0,07%. Таким образом, степень дефосфорации металла  $R_p$ , которая выражает отношение начального  $[P]_н$  и конечного  $[P]_к$  содержания фосфора в металле должна составлять не менее

$$R_p = [P]_н / [P]_к = 0,07/0,01 = 7.$$

Из [1] следует, что

$$R_p = 1 + 437 \cdot 10^{-5} \cdot L'_p \cdot g_{шл},$$

где  $L'_p = (P_2O_5)/[P]$  – коэффициент распределения фосфора между шлаком и металлом;  $g_{шл}$  – количество конечного шлака, который формируется в конвертере при работе одношлаковым процессом, кг/100 кг металлошихты (%);  $437 \cdot 10^{-5}$  – коэффициент пересчета  $P_2O_5$  в фосфор.

При  $R_p = 7$  для получения заданной степени дефосфорации металла необходимо обеспечить

$$L'_p \cdot g_{шл} > (7 - 1) / (437 \cdot 10^{-5}) > 1373.$$

Коэффициент распределения фосфора между шлаком и металлом  $L'_p$  зависит от содержания FeO в шлаке, основности шлака (В), температуры конвертерной ванны  $t_v$  и содержания фосфора  $[P]_н$  в шихте. Так как температура конвертерной ванны при выплавке стали должна быть в пределах 1660-1690°C (ср. 1675 °C), а содержание фосфора в передельном чугуна не более 0,07%, то влияние этих факторов можно считать незначительным. Тогда зависимость коэффициента распределения фосфора между шлаком и металлом  $L'_p$  от содержания FeO в шлаке и его основности (В) имеет вид [2]:

$$L'_p = 207,431 - 164,429 \cdot (В) + 33,621 \cdot (В)^2 + 3,386 \cdot (FeO) + 0,022 \cdot (FeO)^2 + 0,043 \cdot (В) \cdot (FeO).$$

Зависимость  $L'_p$  от содержания (FeO) в пределах 17-30% (максимально допустимое содержание FeO в шлаке по ТИ) и основности шлака (В) в пределах 2,8 – 3,5 приведена на рисунке 1.

Основными факторами, определяющими количество образующегося шлака, является содержание кремния и фосфора в шихте и основности шлака. Приблизительно его можно определять расчетом по формуле:

$$g_{\text{шл}} = 2 \cdot (B) \cdot (2,14[\text{Si}]_{\text{чуг}} + 2,29[\text{P}]_{\text{чуг}} + g_{\text{SiO}_2}), \quad (1)$$

где  $g_{\text{шл}}$  - количество образующегося шлака, кг/100 кг металлошихты (%);  $(B)$ - основность шлака, выраженная отношением  $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ ;  $[\text{Si}]_{\text{чуг}}$  и  $[\text{P}]_{\text{чуг}}$  - содержание кремния и фосфора в металлошихте, %;  $g_{\text{SiO}_2}$  - поступление в шлак  $\text{SiO}_2$  из других источников (кроме реакций окисления кремния металлошихты) - пустой породы сыпучих материалов, миксерного (доменного) шлака, мусора лома и т. п., кг/100 кг металлошихты (%); для кислородно-конвертерного процесса  $g_{\text{SiO}_2} = 0,5-1,0\%$ .

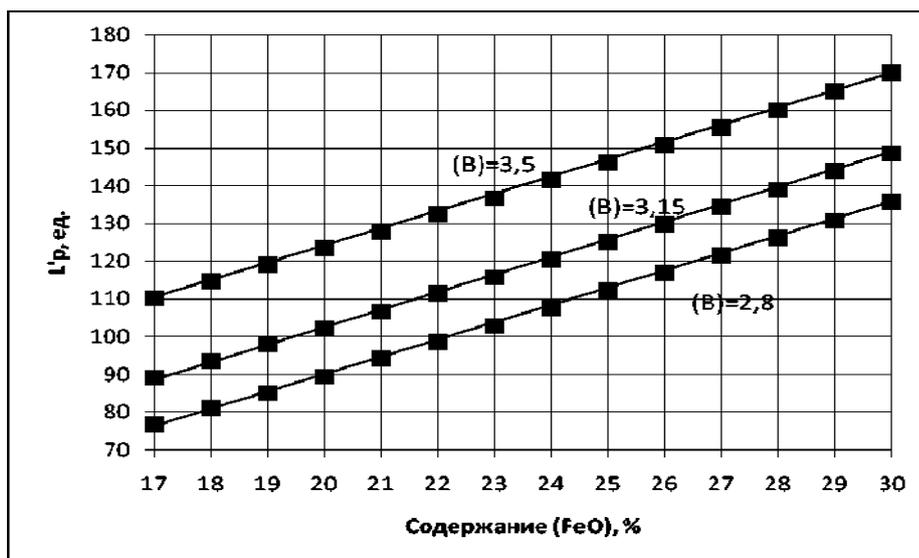


Рисунок 1 – Зависимость  $L'_p$  от содержания (FeO) при основности шлака 2,8, 3,15 и 3,5

При конкретных условиях плавки (относительное постоянство шихты, шлакового режима и т. д.) количество образующегося шлака изменяется незначительно, не более чем на 5-10%. Оно особенно мало изменяется при одношлаковом режиме плавки.

Из формулы (1) следует, что основное влияние на количество формируемого шлака оказывает содержание кремния в чугуне, и в меньшей мере, основность шлака. Зависимость количества шлака от содержания

кремния в чугуна и основности формируемого шлака приведена на рисунке 2.

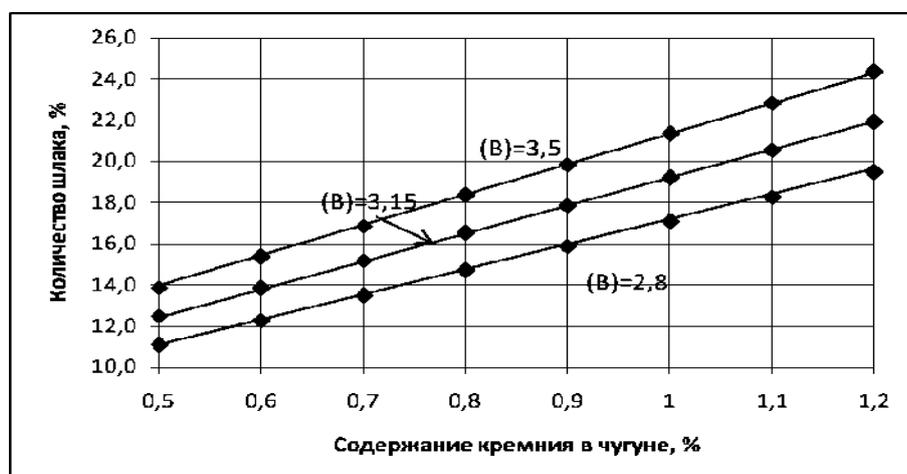


Рисунок 2 – Зависимость количества конечного шлака от содержания кремния в передельном чугуна при различной основности шлака

Минимальные значения  $L'_p$ , которые обеспечивают содержание остаточного фосфора до 0,010% при различном содержании кремния в передельном чугуна, приведены на рисунке 3.

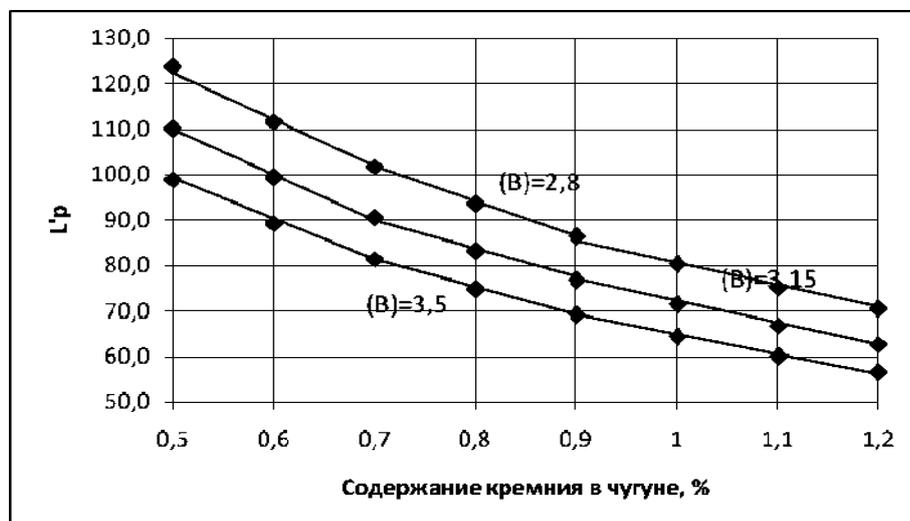


Рисунок 3 – Минимальная величина  $L'_p$  при различном содержании кремния в чугуна и заданной основности шлака для получения  $[P]_{ост} < 0,010\%$

Следовательно, зная содержание кремния в передельном чугуна и задаваясь основностью конечного конвертерного шлака в пределах 2,8 –

3,5, можно обеспечить заданное содержание остаточного фосфора (до 0,010%), прекращая продувку на заданном содержании углерода.

### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

1. В условиях ККЦ «АМК» при содержании фосфора в передельном чугуна не более 0,070% и остаточного фосфора в металле не более 0,010% (при одношлаковом режиме) величина степени дефосфорации  $R_p = [P]_{н} / [P]_{к}$  должна быть не менее 7.

2. Для обеспечения величины  $R_p = 7$  к концу продувки необходимо обеспечить произведение  $L'_p = (P_2O_5)_к / [P]_к$  на  $g_{шл}$  (количество образующегося шлака, кг/100 кг металлошихты) не менее 1373.

3. Коэффициент распределения фосфора между шлаком и металлом  $L'_p$  зависит от содержания фосфора в шихте, содержания (FeO) и основности (В) конечного шлака, температуры конвертерной ванны перед выпуском плавки. При заданном узком интервале  $t_b$  и  $[P]_{чуг}$  – основное влияние на  $L'_p$  оказывает (FeO) и основность (В).

4. Содержание (FeO) в конечном шлаке при  $[C]_к < 0,05\%$  зависит от  $[C]_к$ , при  $[C] > 0,10\%$  от  $[C]_к$  и (В)<sub>к</sub>.

5. Основность конечного шлака (В)<sub>к</sub> с учетом стойкости футеровки конвертеров должна быть в пределах 2,8-3,5.

6. Величина количества конечного шлака  $g_{шл}$  зависит от содержания кремния и фосфора в передельном чугуна, основности конечного конвертерного шлака и количества (SiO<sub>2</sub>), внесенного шихтой. При изменении содержания фосфора в передельном чугуна и (SiO<sub>2</sub>) в шихте в узких интервалах, величина количества конечного шлака  $g_{шл}$  зависит от содержания кремния в передельном чугуна и основности конечного шлака.

7. При известном содержании кремния в передельном чугуна, задавая основностью конечного конвертерного шлака в пределах 2,8 – 3,5 и прекращая продувку на заданном содержании углерода, можно обеспечить заданное содержание остаточного фосфора в металле (до 0,010%).

### **Библиографический список**

1. *Методические указания к выполнению домашнего задания по курсу «Моделирование и оптимизация технических систем» (для студентов специальности 7.090401 «Металлургия черных металлов») Сост. В.В. Должиков. - Алчевск: ДГМИ, 2003. - 21 с.*

2. *Математическое моделирование металлургических процессов. /Ю.М. Максимов, И.М. Рожков, М.А. Саакян // М.: Metallurgy, 1976. – 288 с.*

3. Теория оптимального эксперимента (планирование регрессионных экспериментов) / В.В. Федоров // М.: Наука, 1971. - 211 с.

4. Бигеев А.М. Металлургия стали: учебник для вузов; 2-е изд. перераб. и доп.- М.: Металлургия, 1988. – 480 с.

5. Методические указания к выполнению расчетных работ по курсу «Теоретические основы сталеплавильных процессов» (для студентов специальности 7.090401 «Металлургия черных металлов») Сост. В.М. Кравченко.- Алчевск: ДГМИ, 1993. - 23 с.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.**