

8. *Самойлович, Ю. А.* Кристаллизация слитка в электромагнитном поле / Ю. А. Самойлович. – М.: Металлургия, 1986. – 168 с.
9. Улучшение технологии производства крупных слитков / И. Р. Крянин [и др.] // *Сталь*. – 1988. – № 4. – С. 31–34.
10. *Манохин, А. И.* Снижение зональной ликвации в слитках стали У7 и 1Х18Н9Т электроимпульсной обработкой при затвердевании / А. И. Манохин, Г. Т. Мальцев // *Сталь*. – 1990. – № 9. – С. 65–67.
11. *Иоффе, А. Ф.* Полупроводниковые элементы / А. Ф. Иоффе. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 104 с.
12. *Калашников, С. Г.* Электричество / С. Г. Калашников. – 4-е изд. – М.: Наука 1977. – 592 с.
13. Электровихревой метод перемешивания расплава в жидком ядре заготовок при непрерывном литье / Ю. А. Самойлович [и др.] // *Вестн. НАНБ, серия физ.-техн. наук*. – 2001. – № 2. – С. 125–128.
14. Закономерности кондуктивного метода электромагнитного перемешивания расплава при непрерывном литье листовых заготовок / Ю. А. Самойлович [и др.] // *Вестн. НАНБ, серия физ.-техн. наук*. – 2001. – № 2. – С. 129–132.
15. *Nakatani M., Adachi T., Sugitani J.* // *Journal of Iron and Steel Inst.* – Japan, 1981. – Vol. 67, № 8. – Pp. 1284–1296.
16. *Федотов, В. М.* / В. М. Федотов [и др.] // *Магнитная гидродинамика*. – 1984. – № 4. – С. 95–100.

УДК 669.041

С. М. КОЗЛОВ, канд. техн. наук,
И. А. ТРУСОВА, д-р техн. наук,
Р. Б. ВАЙС, канд. техн. наук (БНТУ)

УЧЕТ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА КОРДОВОЙ СТАЛИ В ПЕЧАХ ПАТЕНТИРОВАНИЯ

Повышение выхода годного металла при нагреве слитков и заготовок, безусловно, представляет собой весьма важную и актуальную производственную задачу.

Как правило, при решении проблем, связанных с минимизацией окисления стали, рассматривают два подхода:

1) разработку оптимальных температурных режимов нагрева (выдержка металла при минимально допустимой с технологической

точки зрения температуре греющей среды, а затем форсированный нагрев до требуемой температуры);

2) создание малоокислительной печной атмосферы, когда в качестве управляющего параметра выступает величина коэффициента расхода воздуха α_v (понижение концентрации воздуха в сварочной и томильной зонах печи и последующее повышение его содержания в начальных технологических зонах с целью дожигания несгоревших остатков топлива).

Сегодня неоспоримым фактом является то, что при разработке новых теплотехнологических режимов функционирования нагревательных агрегатов следует ориентироваться на математическое моделирование изучаемых процессов, поскольку проведение многовариантных расчетов вместо натуральных эффективнее, так как значительно снижает стоимость подобных исследований.

Известные математические формулы (законы Аррениуса, Эйринга, Эванса), описывающие зависимость скорости окисления металла от температуры нагреваемой поверхности, не учитывают влияние печной атмосферы [1]. В данной работе представлена попытка авторов модифицировать эмпирическую формулу Эванса с целью возможности учета отмеченного параметра.

Пусть динамика процесса окисления стали описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dw}{d\tau} = k_w(\alpha_v, T_{\text{пов}}(\tau)) \frac{\chi}{T_{\text{пов}}(\tau)} \exp\left(\frac{-\beta}{T_{\text{пов}}(\tau)}\right), w(0) = 0,$$

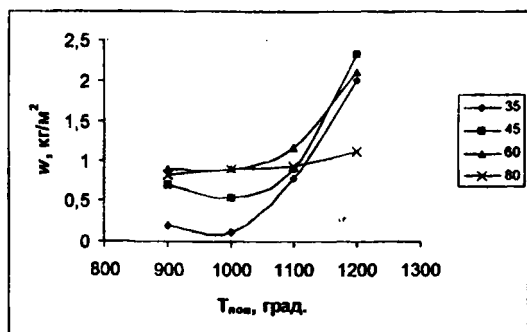
где w – толщина слоя окалины; τ – время; $T_{\text{пов}}$ – температура поверхности нагреваемого металла; χ – константа, характеризующая динамику роста окалины; β – отношение энергии активации к газовой постоянной; k_w – поправочный коэффициент, учитывающий влияние коэффициента избытка воздуха α_v на окислительную способность печной среды.

Величины χ и β определяются при идентификации математической модели окисления металла.

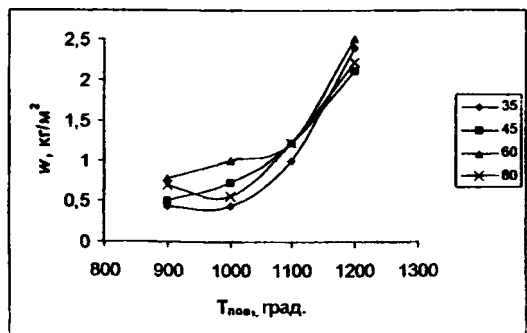
Для определения поправочного коэффициента k_w на основе температуры металла и величины α_s использованы данные работы [2]. Несмотря на то, что влияние коэффициента расхода воздуха на угар стали сказывается лишь при высоких температурах поверхности металла, неучет поправочного коэффициента приводит к значительным погрешностям при вычислении итоговой величины окалины.

На рис. 1 отражена зависимость величины образующейся окалины от температуры образца при различных значениях коэффициента расхода воздуха. В табл. 1 представлены расчетные значения поправочного коэффициента k_w .

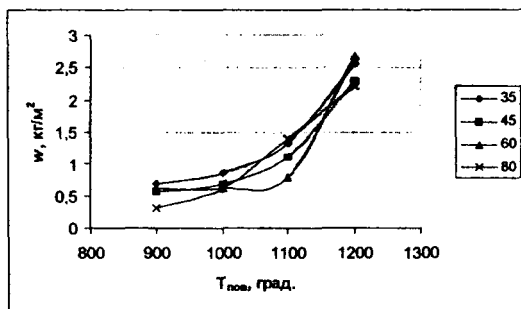
а



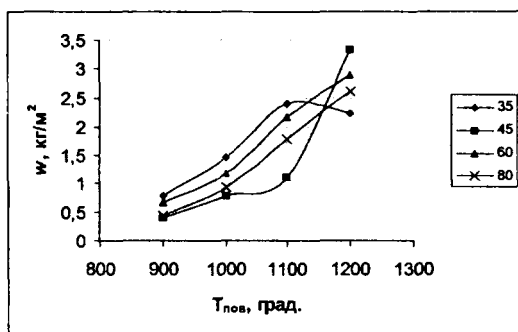
б



6



2



д

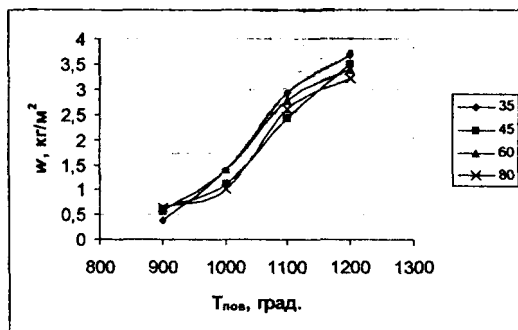


Рис. 1. Зависимость величины образующейся окалины от температуры образца при различных значениях коэффициента расхода воздуха: а - 0,7; б - 0,8; в - 0,9; з - 1,0; д - 1,1

Таблица 1. Расчетные значения поправочного коэффициента k_w

Температура поверхности, °С	Коэффициент расхода воздуха α_a				
	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
<i>Сталь 35</i>					
900	0,244	0,564	0,885	1,000	0,462
1000	0,075	0,299	0,585	1,000	0,946
1100	0,326	0,418	0,556	1,000	1,230
1200	0,901	1,077	1,153	1,000	1,653
<i>Сталь 45</i>					
900	1,769	1,282	1,436	1,000	1,564
1000	0,679	0,923	0,885	1,000	1,423
1100	0,802	1,099	1,000	1,000	2,198
1200	0,700	0,634	0,685	1,000	1,051
<i>Сталь 60</i>					
900	1,328	1,164	0,910	1,000	0,836
1000	0,761	0,855	0,521	1,000	1,188
1100	0,539	0,562	0,359	1,000	1,281
1200	0,730	0,865	0,924	1,000	1,173
<i>Сталь 80</i>					
900	1,841	1,568	0,705	1,000	1,455
1000	0,947	0,595	0,649	1,000	1,037
1100	0,528	0,685	0,781	1,000	1,466
1200	0,425	0,851	0,851	1,000	1,234

Полученные результаты использовались при разработке энерго- и ресурсосберегающих режимов нагрева кордовой проволоки в печах патентирования РУП «Белорусский металлургический завод» [3]. Был реализован предельно возможный вариант снижения соотношения «топливо – воздух» в различных технологических зонах печи (с учетом полного дожига продуктов горения). В результате получены следующие параметры: I зона – $\alpha_{\text{в}} = 1,05-1,15$; II зона – $\alpha_{\text{в}} = 1,0-1,1$; III зона – $\alpha_{\text{в}} = 1,0-1,1$; IV зона – $\alpha_{\text{в}} = 0,85-1,0$. Разработанный рациональный режим нагрева проволоки с учетом изменения $\alpha_{\text{в}}$ по длине печи представлен на рис. 2.

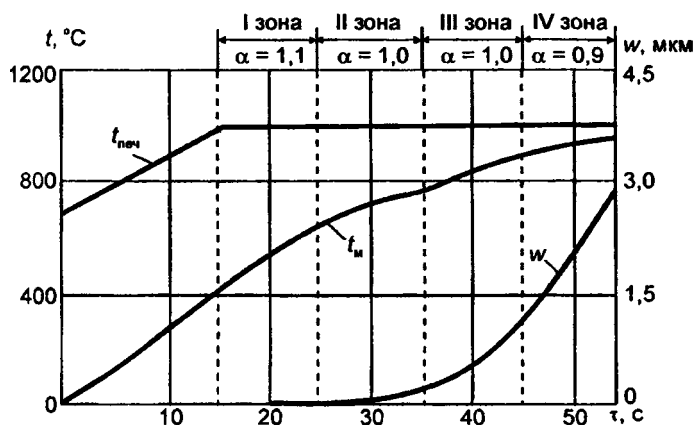


Рис. 2. Рациональный режим нагрева проволоки в печи патентирования с учетом изменения $\alpha_{\text{в}}$ по длине печи

Дальнейшее планиметрирование проб окалины с отобранных образцов показало, что толщина слоя окалины в зависимости от диаметра проволоки уменьшилась на 8–18 %.

Следует отметить, что в печах патентирования при автоматическом регулировании соотношения «топливо – воздух» и температур по зонам имеется возможность достигнуть более высоких технико-экономических показателей с точки зрения окалинообразования. Рекомендовано также понижение коэффициента избытка воздуха в III и IV зонах печи до величины 0,7–0,8 за счет изменения некоторых конструктивных узлов печной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние различных факторов на процесс окисления сталей при нагреве в пламенных печах / С. М. Козлов [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2001. – № 2. – С. 127–129.
2. Окалинообразование сталей при сжигании газообразных топлив / А.Н. Минаев [и др.] // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1983. – № 12. – С. 98–100.
3. Разработка высокоэффективных режимов термической обработки кордовой стали в печах патентирования / В. И. Тимошпольский [и др.] // *Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ)*. – 2001. – № 4. – С. 61–67.

УДК 669.18

М. Л. ГЕРМАН, канд. физ.-мат. наук (РУП «БелТЭИ»),
И. Н. ПЛЮЩЕВСКИЙ, канд. техн. наук (НАН Беларуси),
Н. Л. МАНДЕЛЬ, канд. техн. наук, В. А. ХЛЕБЦЕВИЧ (БНТУ)

ПЕРСПЕКТИВА СОЗДАНИЯ МИКРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС

В статье [1] рассмотрены технические направления модернизации металлургического производства в Республике Беларусь с целью создания собственной горнометаллургической отрасли. Учитывая важность затронутого вопроса, следует подчеркнуть актуальность формирования гибких микрометаллургических производств, обеспечивающих получение определенного сортамента полуфабрикатов, необходимых для нужд промышленных предприятий в условиях Республики Беларусь.

В настоящее время рост производства строительной, машиностроительной и других отраслей характеризуется увеличивающимся потреблением стального листа, полосового проката и другой металлопродукции, которая импортируется в Республику Беларусь. Разработка и внедрение новых металлургических технологий позволят решить проблему импортозамещения полосового проката с полным обеспечением внутреннего рынка и возможным увеличением экспортного потенциала. При этом следует учитывать такой фактор, как обеспечение максимально возможной независимости республики от импорта сырьевых и топливных ресурсов.