

Более быстрое и эффективное окисление примесей может быть достигнуто в ИТП с основной футеровкой, если вдувать воздух на поверхность ванны. В этом случае удастся почти полностью удалить из ванны кремний и марганец, а содержание углерода и фосфора довести до 0,02 %. Метод вдувания воздуха по сравнению с окислением рудой эффективнее повышает скорость и степень выгорания примесей.

Разъедание стены тигля при этом также уменьшается. Для уменьшения разъедания стенки тигля при основной футеровке рекомендуется добавлять в шлак 15–20 % периклаза от массы шлака. Шлак при этом не теряет своей жидкотекучести. Естественно, чем больше площадь соприкосновения металла со шлаком, чем выше температура шлака и чем меньше глубина ванны, тем выше скорость очищения металла от примесей, следовательно, выше механические свойства получаемого изделия.

Нагрев шлака плазменной дугой. При установке плазматрона в своде печи появляется возможность подогрева шлака до температуры, требуемой для проведения металлургических процессов на границе «металл-газовая фаза-шлак».

Дополнительное применение дуги постоянного тока, горящей между графитированным электродом и шихтой, позволяет быстро проплавить в ней вертикальный «колодец». Отдельные куски шихты, образующие внутренние стенки «колодца», оплавляются и электрически переключаются, в результате чего общее электросопротивление шихты снижается, а мощность, передаваемая ей от индуктора, резко возрастает. Происходит сокращение длительности периода расплавления на 20–30 % и снижение удельного расхода электроэнергии.

Вышеуказанные технические решения еще раз показывают возможность формирования активного шлака при выплавке стали в ИТП и использование в качестве шихты относительно дешевого лома с пониженным содержанием кремния, марганца и повышенным содержанием серы и фосфора.

#### Список литературы

1 Снижение дефектности крупных литых деталей подвижного состава железнодорожного транспорта за счет выполнения мощных упрочняющих ребер / Н. К. Турсунов [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч.1. – С. 165–167.

2 Improvement of technology for producing cast parts of rolling stock by reducing the fracture of large steel castings / N. K. Tursunov [et al.] // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Vol. 2, no. 4. – P. 948–953.

3 **Toirov, O. T.** Development of production technology of rolling stock cast part / O. T. Toirov, N. K. Tursunov // Conmechhydro 2021 : Intern. scientific conference on construction mechanics, hydraulics and water resources engineering. – Tashkent, 2021. – Vol. 264. – P. 05013.

4 Development of innovative technology of the high-quality steel production for the railway rolling stock cast parts / N. K. Tursunov [et al.] // Oriental renaissance : Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Vol. 2, no. 4. – P. 992–997.

5 **Тоиров, О. Т.** Совершенствование технологии внепечной обработки стали с целью повышения ее механических свойств / О. Т. Тоиров, Н. К. Турсунов, Л. А. Кучкоров // Universum: технические науки. – Москва : Международный центр науки и образования, 2022. – № 4–2 (97). – С. 65–68.

6 **Турсунов, Н. К.** Повышение качества стали за счёт применения редкоземельных металлов / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. Ч.1. – С. 156–158.

УДК 620.178.16

## ОБОСНОВАНИЕ МОЩНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

*Н. К. ТУРСУНОВ, Т. М. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, Т. Т. УРАЗБАЕВ*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

При эксплуатации индукционных тигельных печей (ИТП-6) на литейных механических заводах необходимо строго следить за температурным режимом плавки, поскольку даже незначительное (на 20~50 К) превышение температуры против допустимой для данного материала футеровки резко уменьшает срок ее службы. Тем временем, срок службы футеровки и вследствие этого работа самой печи определяет производительность по металлу и изделий. Исходя из этого, увеличение срока

службы футеровки и повышение количества плавков в индукционных печах является актуальной проблемой при ее эксплуатации.

*Определение удельной полезной энергии.*

Удельная полезная энергия

$$W_{\text{у.пол}} = (\Delta H_{\text{ме}} + \Delta H_{\text{шл}} - \Delta H_{\text{экз}}) \cdot \frac{1}{3600}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{у.пол}}$  – удельный теоретический расход энергии для плавки, МВт·ч/т;  $\Delta H_{\text{ме}}$  – изменение удельной энтальпии металла, МДж/т;  $\Delta H_{\text{шл}}$  – изменение удельной энтальпии шлака, МДж/Мг;  $\Delta H_{\text{экз}}$  – удельная энергия экзотермических реакций, МДж/т.

Изменение удельной энтальпии металла

$$\Delta H_{\text{ме}} = C_{\text{T}} \cdot (T_{\text{C}} - T_{\text{H}}) + \Lambda_{\text{Ф}} + C_{\text{Ж}} \cdot (T_{\text{P}} - T_{\text{Л}}), \quad (2)$$

где  $C_{\text{T}} = 0,65$  МДж/(т·К) – средняя удельная теплоемкость твердой шихты;  $T_{\text{C}}$  – температура начала плавления (солидуса),  $T_{\text{H}} = 300$  К – начальная температура твердой шихты;  $\Lambda_{\text{Ф}} = 250$  МДж/т – удельная теплота фазового перехода;  $C_{\text{Ж}} = 0,85$  МДж/(т·К) – средняя удельная теплоемкость жидкого стали;  $T_{\text{P}} = 1900$  К – температура перегрева жидкого металла;  $T_{\text{Л}}$  – температура окончания плавления (ликвидуса), К.

Определение температуры начала плавления (солидуса):

$$T_{\text{C}} = T_{\text{пл}} - \sum \{ (\Delta T_{\text{C}})_i \cdot [E] \}, \quad (3)$$

где  $[E]$  – среднее содержание элемента в расплавляемой шихте, %;  $(\Delta T_{\text{C}})_i$  – удельное (на 1 % содержания элемента) снижение температуры плавления чистого железа  $T_{\text{пл}} = 1812$  К, К/%.

Определение температуры окончания плавления (ликвидуса):

$$T_{\text{Л}} = T_{\text{пл}} - \sum \{ (\Delta T_{\text{Л}})_i \cdot [E] \}, \quad (4)$$

где  $(\Delta T_{\text{Л}})_i$  – удельное (на 1 % содержания элемента) снижение температуры плавления чистого железа, К/%.

Изменение удельной энтальпии металла согласно (2)

$$\Delta H_{\text{ме}} = 0,65 \cdot (1700 - 300) + 250 + 0,85 \cdot (1900 - 1786) = 1256,9 \frac{\text{МДж}}{\text{т}} = 349 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}.$$

Изменение удельной энтальпии шлака

$$\Delta H_{\text{шл}} = k_{\text{шл}} \cdot 10 \cdot \Delta H_{\text{мр}} = 3,96 \cdot 10 \cdot 1,9 = 75,3 \frac{\text{МДж}}{\text{т}} = 20,92 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}},$$

где  $\Delta H_{\text{мр}} = 1,9$  МДж/кг – удельная энтальпия шлака.

*Удельная энергия экзотермических реакций*

$$\Delta H_{\text{экз}} = 10 \cdot \sum (\Delta H_{\text{E}} \cdot \Delta [E]_{\text{P}}) = 100,3 \frac{\text{МДж}}{\text{т}} = 27,85 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}, \quad (5)$$

где  $\Delta [E]_{\text{P}}$  – изменение содержания элемента в металле в данный период плавки, %;  $\Delta H_{\text{E}}$  – тепловой эффект соответствующей реакции элемента, МДж/т.

В результате удельная полезная энергия

$$W_{\text{у.пол}} = 1256,9 + 75,3 - 100,3 = 1231,9 \frac{\text{МДж}}{\text{т}} = 343 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}.$$

*Полезный расход энергии*

$$W_{\text{пол.р}} = W_{\text{у.пол}} \cdot m_{\text{ш}} = 343 \cdot 6,079 = 2085 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

На рисунке 1 приведены графики, характеризующие показатели работы ИТП ( $\tau_{\text{р}}$  – время расплавления, ч;  $\tau_{\text{пл}}$  – время плавки, ч;  $M_{\text{Г}}$  – годовая производительность, тыс. т;  $\Delta M_{\text{Г}}/M_{\text{Г}}$  – относительная производительность;  $\Delta P_{\text{М}}/P_{\text{М}}$  – относительная мощность) в зависимости от мощности  $P_{\text{М}}$ , выделяемой в металле.

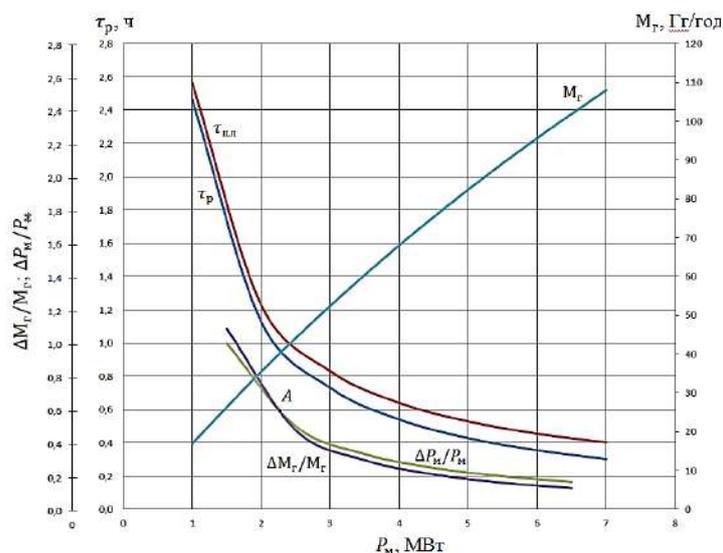


Рисунок 1 – Изменение показателей работы ИТП в зависимости от мощности, выделяемой в металле

Для лучшего использования мощности, выделяемой в металле, выбирают мощность правее точки А т.е.  $\Delta M_T/M_T < \Delta P_M/P_M$ . Поэтому для ИТП ЛМЗ вместимостью 6 т с производительностью 40 тыс. т/год целесообразно выбрать мощность  $P_M = 2,5$  МВт.

#### Список литературы

1. **Турсунов, Н. К.** Оптимизация футеровки индукционных печей при выплавке стали марки 20ГЛ. Обзор / Н. К. Турсунов, Т. М. Турсунов, Т. Т. Уразбаев // *Universum: технические науки*. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 2–2 (95). – С. 13–19.
2. **Kayumjonovich, T. N.** Influence of coating formation conditions in chlorine-containing media on the corrosion properties of titanium / T. N. Kayumjonovich, A. S. Pirmukhamedovich, U. T. Teleubaevich // *Web of Scientist : International Scientific Research Journal*. – 2022. – Vol. 3, no. 5. – P. 1692–1701.
3. **Турсунов, Н. К.** Методика расчета комплексного раскисления стали марки 20ГЛ с алюминием и кальцием / Н. К. Турсунов, Т. Т. Уразбаев, Т. М. Турсунов, // *Universum: технические науки*. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 2–2 (95). – С. 20–25.
4. **Тоиров, О. Т.** Совершенствование технологии внепечной обработки стали с целью повышения ее механических свойств / О. Т. Тоиров, Н. К. Турсунов, Л. А. Кучкоров // *Universum: технические науки*. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 4–2 (97). – С. 65–68.

УДК 620.178.16

## ПРОЦЕСС УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА ИЗ СТАЛИ В ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

*Н. К. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, О. Т. ТОИРОВ, Л. К. КУЧКОРОВ*  
*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

В процессе производства стали роль шлака является одним из определяющих факторов. Удаление из металла фосфора основано на переводе его из состава металла в шлак. Изменяя состав, количество и температуру шлака, можно влиять на процесс дефосфорации металла. Получение шлака необходимого состава, обладающего соответствующими физико-химическими свойствами, является одной из важных задач при выплавке стали.

Процесс удаления фосфора в дуговых сталеплавильных печах происходит в конце периода расплавления и при обезуглероживании расплава, а в конвертере этот процесс начинается сразу после начала продувки, что объясняется быстрым началом формирования окислительного шлака. В индукционных тигельных печах (ИТП) это не является основной задачей, так как эти печи предназначены для расплавления и нагрева металла.

Обычно шлаки в ИТП не выполняют таких функций, как окисление и дефосфорация. В процессе плавки металла в печи образуются шлаки в результате окисления компонентов шихты и футеровочных материалов тигля. Эти шлаки обычно удаляют в конце плавки и добавляют твердые шлакообразующие смеси из боя стекла и кварцевого песка для кислых печей, из свежееобожженной