

conference on vacuum metallurgy and electroslag remelting processes. Munich, October 11–15, 1976. – PP. 45–51.

**6. Поволоцкий, Д.Я.** Физико-химические основы процессов производства стали: Учебное пособие для вузов / Д.Я. Поволоцкий. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 183 с.

**7. Fruehan, R.J.** Siddhartha Misra Hydrogen and Nitrogen Control in Ladle and Casting Operations / R.J. Fruehan // Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA. – 2005. – 54 с.

**8. Селиванов, В.Н.** Кинетическая модель удаления водорода при циркуляционном вакуумировании стали / В.Н. Селиванов, Б.А. Буданов, Д.В. Аланкин // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1 (13). – С. 31–33.

**9. Сталь и ее продувка инертными газами** [Электронный ресурс]. – [http://emchezgia.ru/vakuumnaya/7\\_produvka\\_stali\\_inertnymi\\_gazami.php](http://emchezgia.ru/vakuumnaya/7_produvka_stali_inertnymi_gazami.php).

**10. Сталеплавильное производство РУП «БМЗ»** – в динамике 20 лет / В.А. Маточкин [и др.] // Литье и металлургия. – 2004. – № 3. – С. 53–59.

**11. Сравнительная стоимость эксплуатации установок RH и VD** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://steelcast.ru/rh\\_vs\\_vd](http://steelcast.ru/rh_vs_vd).

*УДК 621.74*

**В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ**, д-р техн. наук (БНТУ),  
**М.В. ГУБИНСКИЙ**, д-р техн. наук (НМетАУ),  
**В.А. МАТОЧКИН**, канд. техн. наук,  
**И.А. ТРУСОВА**, д-р техн. наук (БНТУ)

## **ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЧУГУНА И ОКСИДОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ КОРДОВЫХ МАРОК СТАЛИ\***

Для выплавки высокоуглеродистых марок стали (в частности, кордовых) в дуговых сталеплавильных печах в качестве шихтовых материалов используется металлизированное сырье. Учитывая доста-

---

\* В выполнении НИР принимали участие специалисты БМЗ: канд. техн. наук Афанасиади А.Г., канд. техн. наук Паршиков А.Н.

точно высокую стоимость металлизированного сырья, представляет интерес анализ применения новых шихтовочных материалов с целью его замены, а также контроля технологических параметров процесса выплавки.

В работе приведены результаты использования легкоплавкого шихтового материала, состоящего из сплава (брикетов) чугуна и оксидосодержащих компонентов для условий выплавки стали в ДСП-3 Белорусского металлургического завода.

Исследования включали:

- разработку и изготовление нового шихтового материала на основе чугуна и оксидосодержащих компонентов (Россия, НПО «Тулачермет», г. Тула) и на Могилевском металлургическом заводе;
- опытно-промышленное опробование специальной шихты, состоящей из чугуна и оксидосодержащих компонентов, совмещенных с окислительным рафинированием металлической ванны перемешанной массы.

В НПО «Тулачермет» было изготовлено пять групп нового шихтового материала. Цель испытания заключалась в выборе оптимальной группы для последующего изготовления опытной партии и испытания в ДСП-100 при выплавке кордовой стали на БМЗ.

Состав компонентов, используемых в каждой группе, имел следующие соотношения:

- 1 – 75 % чугун, 25 % окисленные окатыши;
- 2 – 75 % чугун, 25 % агломерат;
- 3 – 75 % чугун, 12,5 % окисленные окатыши, 12,5 % агломерат;
- 4 – 75 % чугун, 6 % окисленные окатыши, 19 % агломерат;
- 5 – 75 % чугун, 19 % окисленные окатыши, 6 % агломерат.

Испытание шихтового материала проводилось на пяти опытных плавках в дуговой печи ДСП по специально разработанной методике. На сухую подину дуговой печи производилась загрузка стального лома от 3 до 3,5 т. После расплавления завалки и нагрева жидкого металла на 4-х плавках проводилось полное скачивание шлака. На зеркало металла в ванну печи присаживалась известь от 250 до 300 кг, после чего загружалась в один прием исследуемая шихта от 1,5 до 3,0 т. В процессе плавки измерялась температура металла и оценивалась фронтальная площадь жидкого расплава.

На плавке № 1 соотношение стального лома первой опытной группы шихты составляло соответственно 3:3. После расплавления

стального лома и скачивания шлака на зеркало металла была загружена опытная шихта. При достижении температуры 1580 °С после расплавления опытной шихты часть шихты оставалась на откосах в печи. Это было связано с ограниченной возможностью использования массы садки и ограниченной максимальной мощностью печного трансформатора.

На плавках №№ 2–5 была ограничена загрузка в печь опытной шихты и соотношение стального лома к опытной шихте составило 3,5:1,5. В частности, на плавке № 2 после расплавления второй группы опытной шихты при температуре 1500 °С фронтальная площадь жидкой ванны составила около 90 %. При этом на протяжении всей плавки наблюдалось интенсивное формирование пенистого шлака, который полностью экранировал электрические дуги, и за 10 мин до окончания нагрева жидкого металла его температура возросла с 1500 до 1620 °С.

На плавке № 3 за 14 мин работы печи под током при использовании первой группы опытной шихты температура металла достигла 1480 °С, а площадь жидкой ванны составляла 30 %, при этом наблюдалось раннее шлакообразование с проявлением пузырькового эффекта. В дальнейшем плавка проходила при кипении пенистого шлака и за 6 мин работы печи температура металла возросла до 1520 °С, а площадь жидкой ванны увеличилась до 85 %. Завершение плавки проходило при полном экранировании электрических дуг пенистыми шлаками и конечная температура за 5 мин возросла с 1520 °С до 1580 °С с полным расплавлением шихты. В процессе работы печи и формирования пенистых шлаков были проведены измерения толщины его покрова, который достигал 400 мм.

На плавке № 4 использовался стальной лом и опытная шихта второй группы. После расплавления стального лома и нагрева жидкого металла до 1580 °С скачивался шлак, после чего производилась загрузка опытной шихты в количестве 1,5 т. После частичного расплавления опытной шихты площадь жидкой ванны составила около 30 %, произвели замер температуры жидкого металла, которая составила 1470 °С. При дальнейшем расплавлении шихты, нагрева жидкого металла температура возросла до 1500 °С, а площадь жидкой ванны составила около 60 % и при температуре 1530 °С на поверхности расплава шихта отсутствовала. При даль-

нейшем нагреве жидкого металла с температурой 1580 °С печь была отключена, а измеренная толщина шлака в печи составила 220–250 мм.

Плавка № 5 была частично смоделирована как выплавка в начальной стадии кордовой стали в ДСП 100 на БМЗ. На данной плавке использовалась шихта четвертой группы. После расплавления 3,5 т стального лома и получения жидкой ванны в печь с помощью лопат подавался агломерат (как твердый окислитель), при этом шлак из печи не скачивался. После отключения печи, перед загрузкой опытной шихты была отобрана проба металла и шлака и произведена загрузка извести 250 кг. Примеси в металле имели следующий состав: С = 0,09 %, Si = 0,05 %, P = 0,021 %; оксиды железа в шлаке FeO = 30 %. После включения печи на 26 мин была измерена температура, которая составляла 1600 °С, при этом шихта в печи полностью отсутствовала. Замеренная толщина пенистого шлака достигала 420 мм.

По результатам испытаний после проведения соответствующих расчетов установлен рациональный состав шихтового материала: 75 % передельного низкокремнистого чугуна и 25 % окисленных окатышей.

На Могилевском металлургическом заводе при разработке нового шихтового материала использовался чугун и сыпучие наполнители (прокатная окалина, отсеv известняка). Необходимо было определить соотношение компонентов, обеспечить максимальное усвоение жидким чугуном прокатной окислыны и отсева известняка, оптимальное образование внутри заготовки газовых пустот, а также выбрать реагенты порошкообразных смесей (кальцинированная сода, отсеv извести, отсеv известняка, плавиковый шпат) для удаления фосфора и серы из чугуна.

При разработке технологии получения литой заготовки осуществлялся ввод сыпучих наполнителей (смеси прокатной окислыны) в чугунную форму при заливке жидкого чугуна с температурой в ковше 1110–1320 °С следующими способами:

- ввод окислыны в один прием в форму до заливки жидкого чугуна;
- ввод окислыны отдельными порциями во время заливки жидкого чугуна;

- непрерывный ввод окалины со скоростью, совмещающей с заливкой в изложницу жидкого чугуна.

При первом способе ввода окалины в изложницу после формирования твердой заготовки обнаружено отсутствие внедрения окалины в чугун. При втором способе ввода окалины при заливке жидкого чугуна в форму происходило значительное вытеснение окалины на поверхность заготовки. Применение третьего способа показало, что в конкретном случае происходило слияние окалины с жидким чугуном.

Для определения оптимального состава нового шихтового материала учитывали требования, предъявляемые к материалу при дальнейшем его использовании в ДСП:

1. Сокращенный период плавления шихты, при завалке ее на «болото», за счет образования внутри чушек газовых пустот.
2. Раннее образование высокоосновного окислительного шлака.
3. Заданный химический состав металла после расплавления шихты.

При расчете температуры расплава в чугунной форме при переходе из жидкого в твердое состояние при различной массе вводимого наполнителя, варьировании массы разливаемого чугуна, температуры жидкого чугуна в разливочном ковше выполнены эксперименты, на основании которых определены диапазоны рабочих параметров.

По результатам исследований установлено, что при получении литой шихтовой заготовки массой 10,2–10,8 кг с использованием наполнителя 1–1,2 кг (0,8–1 кг прокатной окалины и 0,2 кг отсева известняка пористость заготовки составила 15,2–19,8 %, окончательная масса шихтовой чушки – 8,18–9,16 кг.

Для опробования разработанного шихтового материала было выполнено 20 опытных плавов в ДСП с использованием предварительной загрузки шихты первой группы и 2 плавки с шихтой второй группы.

При проведении опытных плавов проводился контроль соблюдения выполнения требований технологии, включая расширенный контроль параметров в течение двух периодов:

- при подготовке печи к плавке;
- при работе печи.

В процессе выплавки расширенный контроль энерготехнологических параметров проводился синхронно за определенные интервалы времени.

На рисунке 1 в качестве примера приведены результаты оценки усредненной температуры после загрузки брикетов из чугуна и окисленных окатышей в жидкую ванну («болота»). На основании опытных и справочных данных получена зависимость средней температуры шихты от массы «болота» при различной массе брикетов, которая приведена на рисунке 1.

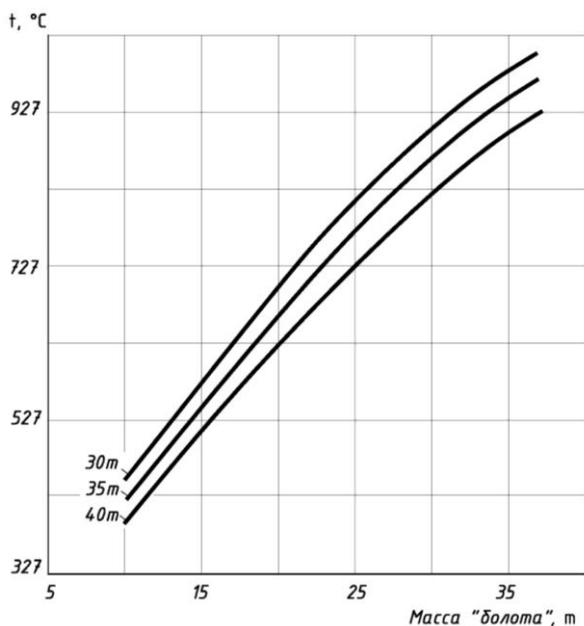


Рисунок 1 – Расчетная средняя температура материалов в печи после загрузки шихты (брикеты из чугуна и окисленных окатышей) различной массы в зависимости от массы «болота»

В последующем была выполнена оценка теплового КПД печи с использованием в завалку брикетов массой 35 т, при этом масса «болота» составляла соответственно 10 т, 15 т, 23 т. На рисунках 2–4 в качестве примера показаны экспериментальные и расчетные значения энергии (а), тепловой КПД печи (б), масса жидкого

металла ( $\epsilon$ ) и подводимые мощности ( $z$ ) в зависимости от продолжительности периода плавления шихты.

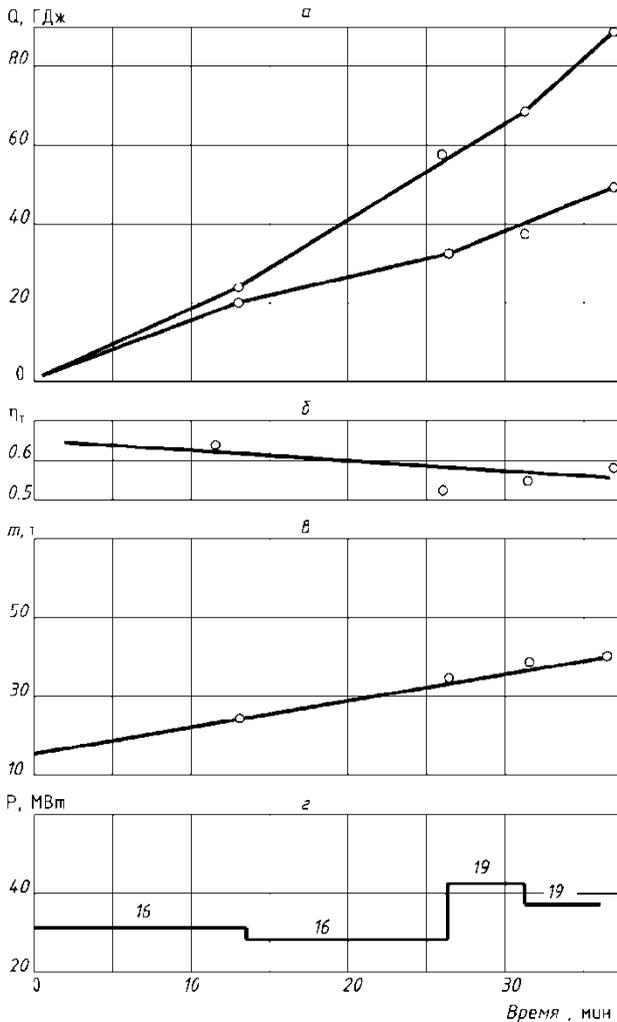


Рисунок 2 – Экспериментальная (верхняя линия) и расчетная (нижняя линия) энергия ( $a$ ), тепловой КПД ( $б$ ), масса жидкого металла ( $в$ ) и ступени мощности трансформатора ( $г$ ) в зависимости от продолжительности периода плавления шихты с использованием загрузки массой 35 т (при использовании болота массой 15 т (плавка № 1))

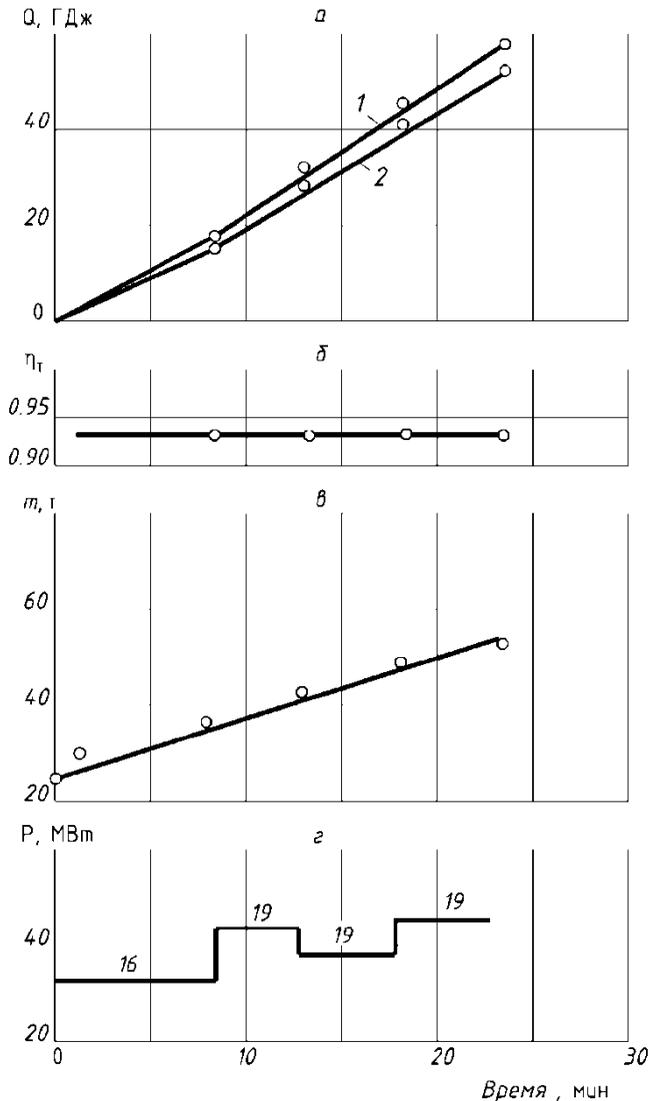


Рисунок 3 – Экспериментальная (верхняя линия) и расчетная (нижняя линия) энергия (а), тепловой КПД (б), масса жидкого металла (в) и ступени мощности трансформатора (г) в зависимости от продолжительности периода плавления шихты с использованием загрузки массой 35 т (при использовании болота массой 23 т (плавка № 2))

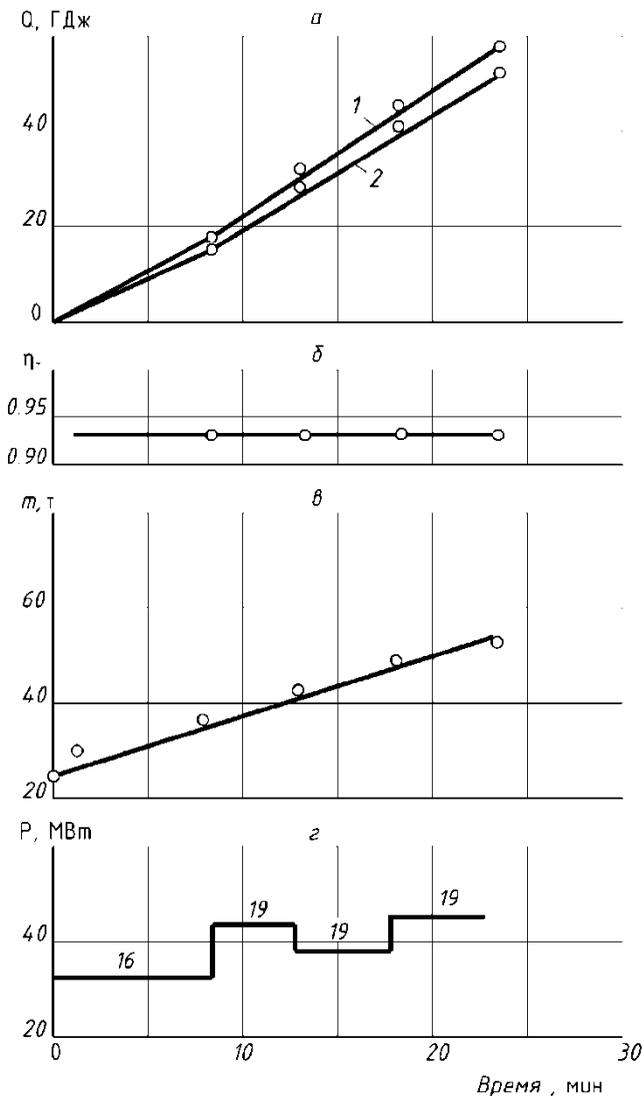


Рисунок 4 – Экспериментальная (верхняя линия) и расчетная (нижняя линия) энергия (а), тепловой КПД (б), масса жидкого металла (в) и ступени мощности трансформатора (г) в зависимости от продолжительности периода плавления шихты с использованием загрузки массой 35 т (при использовании болота массой 10 т (плавка № 3))

Наиболее рациональный режим работы соответствует плавкам № 3 и 2 (рисунки 3, 4). Расход общей энергии за период плавления шихты соответственно составил:  $58,87 \cdot 10^3$  и  $57,96 \cdot 10^3$  МДж; расход полезной энергии:  $55,08 \cdot 10^3$  и  $53,9 \cdot 10^3$  МДж; длительность периода 25 и 23 мин, а общий КПД печи – 93 %.

Причиной высокого теплового КПД печи и незначительных различий длительности периода плавления шихты и нагрева жидкого металла на данных плавках является использование рациональной средней за период подводимой мощности, равной 39 и 42 МВт.

В то же время на плавке № 1 (рисунок 2) продолжительная работа печи на 16-й ступени (пониженная ступень напряжения трансформатора) привела к снижению средней за период подводимой мощности, которая составила 32,7 мВт и к возрастанию общей тепловой энергии за период до  $84,87 \cdot 10^3$  МДж. Все это, в конечном счете, привело к увеличению продолжительности периода на 12 мин и снижению теплового КПД печи до 64 %.

Таким образом, для получения теплового КПД печи 0,92–0,93 в период расплавления шихты, состоящей из брикетов массой 35 т и извести – 2,5 т, необходима средняя за период подводимая мощность не ниже 40 МВт.

*УДК 669.187.28*

**Л.В. ТРИБУШЕВСКИЙ,**  
**Б.М. НЕМЕНЁНОК, д-р техн. наук,**  
**Г.А. РУМЯНЦЕВА, канд. техн. наук,**  
**О.А. ПОЗНЯК, М.А. КУЛИК (БНТУ)**

## **ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ ШЛАКОВ – ИСТОЧНИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ**

Проблема утилизации отходов, сбережения материальных ресурсов и экологической безопасности является одной из основных для промышленности в целом и прежде всего для металлургической отрасли.

Широкое использование алюминиевых сплавов в различных отраслях промышленности Республики Беларусь приводит к образо-