

Части футеровки, которые контактируют с жидким расплавом, следует выполнять многослойными. При этом для исключения коррозии огнеупоров можно использовать материалы, плохо смачиваемые расплавом, или защищать их рабочие поверхности специальными огнеупорными и теплостойкими покрытиями, полученными с использованием СВС-технологий [4].

Это позволит, во-первых, повысить срок службы огнеупорной футеровки, и, во-вторых, исключить загрязнение расплава продуктами реакций, протекающих между расплавом и составляющими футеровки.

Литература

1. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В.И. Напалков [и др.]. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.

2. Макаров, Г.С. Слитки из алюминиевых сплавов с магнием и кремнием для прессования. Основы производства / Г.С. Макаров. – М.: Интермет Инжиниринг, 2011. – 528 с.

3. Волочко, А.Т. Алюминий: Технологии и оборудование для получения литых изделий / А.Т. Волочко, М.А. Садох. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 387 с.

4. Жукова, А.А. Керамические материалы и покрытия для тепловых агрегатов, полученные с использованием синтезированного сырья и отходов металлургического производства: автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.16.09 / А.А. Жукова; ФТИ НАНБ. – Минск, 2012. – 23 с.

УДК 621.74

С.В. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук (БНТУ)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЛАВКИ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ*

Введение. Плавка стали в электрических печах является одним из основных технологических методов получения жидкого расплава в металлургическом и литейном производстве в Республике Беларусь.

Сравнение крупнотоннажных электродуговых печей с печами литейного класса показывает, что технология получения металла в них отличается. Многие технологические элементы, используемые на большегрузных печах для интенсификации процессов плавки, не нашли применения на электродуговых печах литейного класса. Для высокопроизводительной работы современные ДСП оборудуются газокислородными горелками, кислородными фурмами, инжекторами кислорода для дожигания отходящих газов, инжекторами порошка углерода, фурмами для донной продувки металла, манипулятором для отбора проб и замера температуры, системой контроля качества вспененного шлака. Выпуск металла осуществляется через эркер с гарантированной отсечкой печного шлака и оставлением в печи до 10 % жидкого металла. Информация об эффективности применения средств интенсификации плавки в электродуговых печах приводится в литературе в ограниченном количестве и в основном для крупных металлургических печей, поэтому представляется целесообразным оценка уровня техники и технологий, применяемых в электросталеплавильном производстве для интенсификации процессов плавки печей различной емкости в Республике Беларусь и в зарубежных странах.

Влияние интенсификации процесса плавки металла на его себестоимость. Для увеличения производительности действующих печей могут применяться следующие мероприятия: замена футеровки с основной на кислую с переходом на более качественную металлошихту; увеличение объема загрузки печи; использование кислорода взамен твердых окислителей; подогрев металлошихты; применение горелок и фурм для вдувания газообразного и пылевидного топлива; сокращение времени простоев печи.

Капитальные вложения в оборудование для интенсификации процесса плавки различны как по общей величине, так и по удельным величинам, отнесенным к тонне расплава в зависимости от емкости и конструктивных особенностей печи, поэтому амортизационные отчисления также являются функцией вместимости печи.

Интенсификация плавки, как правило, наибольшее влияние оказывает на увеличение производительности работы агрегата и, следовательно, на увеличение объема выпускаемой продукции, однако

часто кроме увеличения производительности наблюдается снижение удельного расхода электрической энергии.

Прибыль зависит от объема производства и увеличивается с ростом производительности при условии, что используются аналогичные материалы:

$$\Pi = Q - Z - Z_{\text{усл.п}} = (\Pi - Z_{\text{уд}}) \cdot G - Z_{\text{усл.п}}, \quad (1)$$

где Q – объем продукции в денежном выражении, у.е.; Z – затраты, у.е.; $Z_{\text{усл.п}}$ – условно-постоянные расходы, у.е.; Π – цена продажи металла, у.е./т; $Z_{\text{уд}}$ – удельные затраты, у.е./т; G – объем производства, т.

Себестоимость состоит из затрат на шихтовые материалы, добавочные материалы, расходов по переделу и общезаводских расходов.

Затраты на шихтовые материалы зависят от цен на составляющие завалки и расходных коэффициентов по каждой из составляющих. В общем случае интенсификация процесса плавки металла может изменять расходные коэффициенты металлошихты

$$\Pi_1 = (\Pi - Z_{\text{уд}} - \Delta Z_{\text{уд}}) \cdot G_1 - Z_{\text{усл.п}} - \Delta Z_{\text{усл.п}}, \quad (2)$$

где Π_1 – прибыль после внедрения мероприятий по интенсификации плавки, у.е.; $\Delta Z_{\text{уд}}$ – изменение удельных затрат, у.е./т; G_1 – объем производства после интенсификации, т; $\Delta Z_{\text{усл.п}}$ – изменение условно-постоянных затрат, у.е.

Изменение условно-постоянных затрат является функцией изменения объема производства $\Delta Z_{\text{усл.п}} = f(\Delta G)$.

Чем больше объем производства, тем меньше доля условно-постоянных затрат в себестоимости продукции.

Емкость печи влияет на себестоимость металла двумя путями:

1) печи различной емкости имеют конструктивные особенности, влияющие на стойкость ограждающих конструкций и, следовательно, на продолжительность простоев печи и ее производительность;

2) печи различной емкости имеют различные удельные расходы электрической энергии, что влияет на эксплуатационные затраты.

Расчетная методика по анализу эффективности применения средств интенсификации плавки. Методика анализа эффективно-

сти применения средств интенсификации плавки необходима, в первую очередь, для прогноза эффективности внедрения данных средств в конкретных условиях производства.

Методика содержит три этапа оценки эффективности:

- 1) Качественная оценка технических эффектов различных мероприятий;
- 2) Оценка экономического эффекта от внедрения мероприятия;
- 3) Оценка возможности реализации мероприятия.

Расчетная методика анализа эффективности применения средств интенсификации плавки включает: предварительный расчет себестоимости выплавляемой стали; выбор соответствующих структуре себестоимости мероприятий; анализ эффективности выбранных мероприятий с учетом емкости печи и технологических параметров плавки и внепечной обработки. Методика содержит как качественную, так и количественную оценку эффективности. Качественная оценка эффективности средств интенсификации плавки позволяет определить основные технические эффекты от применения средств интенсификации и оценить их величину.

Например, применение газокислородных горелок в электродуговой печи позволяет снизить расход электрической энергии за счет замещения электрической энергии энергией горения природного газа, а также уменьшения тепловых потерь через стены и свод при сокращении времени периода расплавления. Уменьшение времени плавки достигается за счет сокращения времени периода расплавления. Также отмечается уменьшение количества используемых графитированных электродов, но появляются затраты на природный газ и кислород.

При использовании предварительного подогрева металлошихты вне электродуговой печи снижается расход электрической энергии за счет увеличения начальной энтальпии металлошихты и уменьшается время плавки. Также отмечается уменьшение количества используемых графитированных электродов, но появляются затраты на природный газ.

При использовании кислорода для продувки ванны также происходит снижение расхода электрической энергии и уменьшение времени плавки за счет уменьшения времени окислительного периода, а также снижается количество твердых окислителей (руды, железорудных окатышей, окалины).

Снижение расхода электрической энергии при использовании кислорода для продувки ванны расплава будет наблюдаться в случае, если тепловой эффект реакции окисления элементов в расплаве будет превышать увеличение расхода электрической энергии вследствие угара металла.

Например, при окислении расплава с содержанием 1,5 % углерода до 0,5 % углерода угар составит 1 %. При окислении 1 кг углерода с учетом различного соотношения оксидов углерода в продуктах окисления можно принять тепловой эффект окисления углерода равным 9,4 МДж/кг при температуре вдуваемого кислорода равной 300 К [1]. Тогда тепловыделение составит $H_C = 9,4 \cdot 10 = 94$ МДж/т или 26,1 кВт·ч/т исходного расплава. Учитывая, что удельная энтальпия при нагреве и плавлении стали с содержанием 1–1,6 % С составляет 400 кВт·ч/т и принимая средний коэффициент использования энергии дуг (КПД печи) равным 0,55, получим количество потраченной электрической энергии равное 727,3 кВт·ч/т. Тогда при угаре металла равном 1 %, количество затраченной энергии увеличится до $727,3/0,99 = 734,6$ кВт·ч/т готового расплава. Увеличение потребляемой энергии составит $734,6 - 727,3 = 7,3$ кВт·ч/т. Так как тепловыделение превышает увеличение потребляемой энергии за счет угара, то произойдет снижение расхода электрической энергии на величину $26,1 - 7,3 = 18,8$ кВт·ч/т.

При угаре 1 % железа в отличие от углерода тепловой эффект меньше и составляет 3,8 МДж/кг, а тепловыделение $H_{Fe} = 3,8 \cdot 10 = 38$ МДж/т или 10,6 кВт·ч/т исходного расплава. Таким образом, для рассмотренных условий, несмотря на меньший тепловой эффект, также произойдет снижение расхода электрической энергии на величину $10,6 - 7,3 = 3,3$ кВт·ч/т.

Представленные расчеты показывают, что при использовании кислорода будет происходить снижение удельного потребления электрической энергии вне зависимости от величины угара металла и химического состава металлошихты.

Однако в денежном выражении эффект может быть отрицательным в зависимости от соотношения цен на металлошихту и электрическую энергию, а также в зависимости от стоимости кислорода.

Принимая стоимость электрической энергии равной 0,12 у.е./кВт·ч, а стоимость металлошихты 290 у.е./т [2], получим следующие результаты:

- при угаре железа равном 1 % потери равны $290 \cdot 0,01 = 2,9$ у.е./т;
- экономия электрической энергии составит при этом $0,12 \cdot 3,3 = 0,396$ у.е./т;

- на окисление 10 кг железа до Fe_2O_3 требуется $10 \cdot 48 / 112 = 4,29$ кг кислорода, а до FeO $10 \cdot 16 / 56 = 2,86$ кг кислорода. С учетом коэффициента усвоения кислорода равного 0,9 необходимое количество кислорода можно принять равным 3,5 кг или $3,5 / 1,429 = 2,45$ м³. При стоимости кислорода равной 0,1–1 у.е./м³, затраты на кислород составят 0,245–2,45 у.е./т.

Из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- использование кислорода для интенсификации процесса плавки может приводить к увеличению себестоимости получаемого металла;

- при замене способа окисления кислородом воздуха или твердыми окислителями на окисление техническим кислородом экономический эффект определяется, в первую очередь, стоимостью кислорода, которая существенно зависит от способа его получения на предприятии;

- внедрение продувки ванны кислородом с целью интенсификации плавки рационально только при необходимости повышения производительности действующих печей;

- при неизменном количестве плавков с уменьшением их длительности использование кислорода неэффективно.

Таким образом, качественная оценка эффективности использования кислорода позволяет определить области и условия, при которых продувка может дать положительный эффект. Для дальнейшего анализа необходимо определить конкретные условия и определить эффективность в комплексе всех положительных и отрицательных эффектов.

Количественная оценка заключается в определении эффекта применения средств интенсификации в денежном выражении, а также срока окупаемости средств интенсификации при модернизации действующего производства.

Ключевым моментом в оценке эффективности средств интенсификации плавки является предварительная оценка структуры себестоимости выплавляемой стали, поэтому далее рассмотрено определение себестоимости металла и некоторых технико-экономических показателей.

Количественная оценка эффективности применения средств интенсификации. Инвестиции состоят из капитальных вложений и оборотных средств.

Капитальные вложения в оборудование рассчитываются исходя из его количества и цен и учитывают транспортные расходы, затраты на монтаж и др.

Стоимость нормируемых оборотных средств (производственных запасов сырья и материалов) можно принять укрупнено равной 30 % полной себестоимости годового объема выпуска продукции.

Расчет себестоимости продукции

Себестоимость продукции представляет сумму затрат предприятия на ее производство и реализацию. Себестоимость годового объема выпуска выражает затраты предприятия на всю номенклатуру производимой продукции.

Расчет затрат на материалы

Основу металлозавалки составляет стальной лом и возврат стали заданной марки. Для доведения марки по кремнию и марганцу применяют ферросилиций и ферромарганец, для науглероживания – передельный чугуны, а для раскисления металла в конце плавки – алюминий.

Затраты на добавочные материалы определяются удельными их расходами и ценами.

В качестве добавочных материалов используются окислители, шлакообразующие, науглероживатели и раскислители. Также большую долю в затратах имеют заправочные материалы, необходимые для ремонта подины и стен печи.

Расход заправочных материалов зависит от размеров заправочной поверхности подины и в удельных величинах уменьшается с увеличением емкости печи.

Затраты на топливо и энергию на технологические цели

К технологическому топливу и энергии относятся: топливо и электроэнергия, расходуемая на расплавление шихтовых материалов.

Затраты на технологическую электрическую энергию для электродуговых печей литейного класса составляют наибольшую вели-

чину из расходов по переделу. Затраты на электрическую энергию состоят из затрат на плату за максимум заявленной активной мощности нагрузки $Z_{эл.м}$ и затрат на израсходованную электрическую энергию $Z_{эл.п}$.

Затраты на технологическое топливо отсутствуют до установки средств интенсификации плавки и присутствуют в случае интенсификации плавки путем установки газокислородной горелки (горелок) или при использовании предварительного подогрева металлошихты путем сжигания газа.

Расчет фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды

Фонд оплаты труда (ФОТ) состоит из фонда основной и дополнительной заработной платы производственных и вспомогательных рабочих, руководителей, специалистов и служащих.

Отчисления в фонд социальной защиты населения (34 %) и взнос (0,6 %) по обязательному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний (34,6 % от ФОТ).

Определение общепроизводственных, общехозяйственных и коммерческих расходов

Общепроизводственные (цеховые) расходы состоят из расходов на содержание и эксплуатацию оборудования и расходов по организации, обслуживанию и управлению производством.

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования включают амортизацию оборудования и транспортных средств, расходы на отопление, водоснабжение, освещение, затраты на силовую энергию, текущий ремонт оборудования, транспортных средств и ценного инструмента, расходы на внутривзаводское перемещение грузов и т.д. Содержание оборудования также включает стоимость смазочных обтирочных и других вспомогательных материалов, а также услуги сторонних организаций вспомогательных цехов.

Расчет расходов по организации, обслуживанию и управлению производством

Сюда включают расходы на заработную плату руководителей и служащих, амортизацию зданий, сооружений и цехового инвентаря, расходы на содержание зданий, сооружений, расходы на текущий ремонт зданий и сооружений, расходы на испытания, опыты, иссле-

дования, рационализацию и изобретательство, расходы по охране труда и прочие расходы.

Общехозяйственные (общезаводские) расходы. Коммерческие (внутризаводские) расходы составляют 3–5 % от производственной себестоимости.

В качестве примера рассмотрим вариант технологии плавки стали в сталелитейном цехе автомобильного завода с электродуговыми печами переменного тока ДС-5МТ при выплавке углеродистых марок стали (емкость печи 5 т, мощность трансформатора 3800 кВА, производительность 2,5 т/ч; удельный расход электроэнергии 790 кВт·ч/т; расход электродов 6,5 кг/т; угар металла 4 %). Количество возврата составляет 42 % от металлозавалки, ферромарганца – 1,5 %, ферросилиция – 0,8 %, чугуна передельного 0,8 %, алюминия вторичного – 0,25 %. Остальное – стальной лом 2А и 8А в соотношении 4 к 1.

Диаграмма составляющих себестоимости при выплавке углеродистых марок стали 20Л – 40Л приведена на рисунке 1.

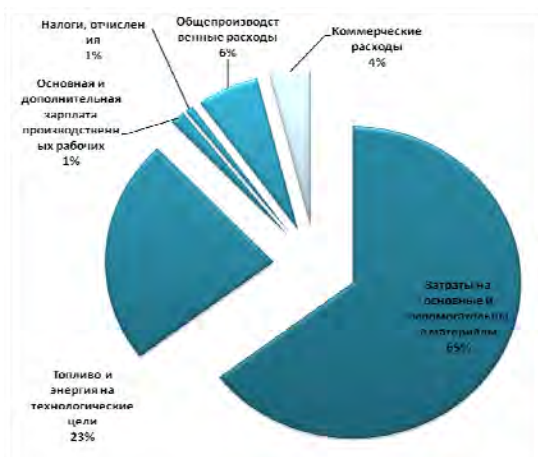


Рисунок 1 – Диаграмма составляющих себестоимости

Как следует из расчетов, доля затрат на основные и вспомогательные материалы составляет 65 %.

В работе [3] приведены данные о структуре себестоимости различных марок стали, из которых следует, что стоимость передела

(электроэнергия, электроды, кислород, зарплата, амортизация оборудования, огнеупоры и т.д.) для стали ШХ15 составляет 46,3 %, для стали Х18Н9Т – 8 %, а для стали Р18 – 2,3 %. Общезаводские расходы при этом составляют для стали ШХ15 – 4,5 %, для стали Х18Н9Т – 0,7 %, а для стали Р18 – 0,2 %. Соответственно расходы на шихтовые материалы для стали ШХ15 – 49,2 %, для стали Х18Н9Т – 91,3 %, а для стали Р18 – 97,5 %. Из приведенных данных следует, что доля электрической энергии в себестоимости некоторых выплавляемых марок стали может составлять незначительную величину, а, следовательно, только снижение расхода электрической энергии для данных случаев не может привести к существенному экономическому эффекту.

Таким образом, после получения данных о составляющих себестоимости необходимо проводить анализ статей, вносящих наибольший вклад в себестоимость.

Основной принцип определения эффективности интенсификации плавки по предлагаемой методике заключается в том, что основные усилия следует направлять на улучшение процессов, где возможность значительного сокращения затрат наибольшая. Кроме того предпочтение следует отдавать мероприятиям, не связанным с реконструкцией печей.

Если затраты на шихтовые материалы составляют основную часть себестоимости, то следует максимальное внимание уделить мероприятиям, связанным с сортировкой металлошихты и ее предварительной подготовкой, а также с модифицированием металла с целью уменьшения количества используемых дорогостоящих легирующих компонентов. Предварительная подготовка металлошихты позволяет не только уменьшить затраты на материалы, но и сократить технологические простои на разрушение мостов из сплавившихся кусков металла и уменьшить время периода расплавления.

В случае значительной доли топливной и энергетической составляющих необходимо, в первую очередь, уделить внимание мероприятиям, связанным со снижением затрат энергоресурсов.

Если технологическими мероприятиями невозможно существенно уменьшить затраты, то при реконструкции следует обращать внимание на срок окупаемости оборудования. Это связано с тем, что при реконструкции «старых» печей с установкой нового оборуду-

дования для окупаемости их установки оно должно отработать нормативный срок.

Далее производится расчет технико-экономических показателей цеха для определения базы, относительно которой определяется экономический эффект осуществляемых мероприятий.

Расчет технико-экономических показателей цеха

Изменение величины прибыли от реализации продукции после внедрения средств интенсификации плавки при величине НДС, равной 20 %:

$$\text{ДП}_p = \frac{\Delta Q \pm \Delta C_n - 0,2 \cdot (\Delta Z \cdot 1,346 + \Delta A)}{1,2}, \quad (3)$$

где ΔQ – увеличение годового объема продукции в отпускных ценах, млн. руб.; ΔC_n – изменение полной себестоимости годового объема выпуска продукции, млн. руб.; ΔZ – увеличение фонда заработной платы, млн. руб.; ΔA – увеличение амортизационных выплат на основные фонды.

Чистая прибыль рассчитывается по формуле

$$\Pi_{\text{ч}} = (\Pi_p - 0,01 \cdot \Phi_0) \cdot \left(1 - \frac{H_n}{100}\right), \quad (4)$$

где Φ_0 – стоимость основных фондов, млн. руб.; H_n – налог на прибыль, %

Период возврата инвестиций рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{I}{\Pi_{\text{ч}}}, \quad (5)$$

Технико-экономический эффект интенсификации плавки в большинстве случаев достигается за счет увеличения объема выпускаемой продукции без увеличения количества плавильного оборудования, а также за счет уменьшения удельных затрат на материалы и электрическую энергию.

Изменение величины полной себестоимости связано с изменением удельных затрат на выплавку стали. Изменение величины удель-

ных затрат при интенсификации процесса плавки можно представить следующей формулой:

$$\Delta Z_{уд} = \sum \Delta(M_{скрi} \cdot C_{скрi}) \pm \sum \Delta(M_{добj} \cdot C_{добj}) \pm \sum \Delta(M_{Ti} \cdot C_{Ti}) \pm \Delta W \cdot C_{эл}, \quad (6)$$

где $M_{скрi}$ – масса i -го компонента скрапа, кг; $C_{скрi}$ – цена i -го компонента скрапа, у.е./кг; $M_{добj}$ – масса добавочных компонентов, кг; $C_{добj}$ – цена добавочных компонентов, у.е./кг; M_{Ti} – масса топливных ресурсов, кг; C_{Ti} – цена топливных ресурсов, у.е./кг; ΔW – изменение удельного расхода электрической энергии при интенсификации плавки, кВт·ч/т; $C_{эл}$ – цена электрической энергии, у.е./кВт·ч;

Затраты на потребленную энергию $Z_{эл.п}$ можно определить по формуле

$$Z_{эл.п} = (W \pm \Delta W) \cdot C_{эл} \cdot (G + \Delta G), \quad (7)$$

где W – удельный расход электрической энергии до внедрения мероприятий по интенсификации плавки, кВт·ч/т; G – производительность печи (объем производства), т; ΔG – увеличение объема производства в результате интенсификации плавки, т.

Годовой экономический эффект от внедрения средств интенсификации можно определить также по формуле:

$$\mathcal{E}_п = П_{ч2} - П_{ч1} - E_p \cdot (I_2 - I_1), \quad (8)$$

где $П_{ч2}$ – чистая прибыль после внедрения средств интенсификации плавки, у.е.; $П_{ч1}$ – прибыль до установки средств интенсификации, у.е.; E_p – ставка реального банковского процента; I_2, I_1 – инвестиции после и до установки средств интенсификации плавки, у.е.

Таким образом, используя представленную методику, можно оценить эффективность использования средств интенсификации плавки в различных производственных условиях.

Определение возможного эффекта при технологических воздействиях на процесс выплавки стали при интенсификации процесса плавки. Рассмотрим достигаемый эффект при различных

технологических воздействиях в процессе выплавки стали на действующий электродуговых печах.

Характер влияния продолжительности периодов плавки на удельный расход энергии зависит от емкости печи и наличия водоохлаждаемых элементов в конструкции стен и свода печи. Мощность тепловых потерь ДСП в окислительный период можно определить по соотношению (при условии геометрического подобия) [1]:

$$P_{\text{т.п.о}} = K_{\text{т.п.о}} \cdot 0,19 \cdot m_o^{2/3}, \text{ МВт}, \quad (9)$$

где $K_{\text{т.п.о}}$ – коэффициент, учитывающий возможное изменение тепловых потерь в окислительный период в случае применения на ДСП водоохлаждаемых элементов футеровки; m_o – емкость печи, т.

Тогда для печи емкостью 3 т мощность тепловых потерь в окислительный период составит: $P_{\text{т.п.о}} = 1 \cdot 0,19 \cdot 3^{2/3} = 0,19 \cdot 2,08 = 0,3952 \text{ МВт}$.

Сокращение удельного расхода электроэнергии запишется в виде:

$$\Delta W_{\tau} = \Delta \tau \cdot 395,2 / 60 / 3 = \Delta \tau \cdot 2,196 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}.$$

Для печи емкостью 5 т сокращение удельного расхода электроэнергии запишется в виде: $\Delta W_{\tau} = \Delta \tau \cdot 556 / 60 / 5 = \Delta \tau \cdot 1,853 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$.

Таким образом, уменьшение длительности окислительного периода для электродуговых печей меньшей емкости имеет более значительный эффект.

Сокращение удельного расхода электроэнергии в восстановительный период определяем таким же образом. Сокращение длительности восстановительного периода на 10 мин приводит к экономии электрической энергии в количестве около 16 кВт·ч/т.

Сокращение удельного расхода электрической энергии, связанное с сокращением технологических простоев (получено путем обработки экспериментальных данных на печах емкостью 3 т): $\Delta W_{\Delta \tau 3} = 16,67 \cdot \Delta \rho$.

Сокращение удельного расхода электрической энергии, связанное с изменением технологических параметров плавки, представлено выражениями:

$$\Delta W = \Delta W_{\Delta t} + \Delta W_{u1} + \Delta W_{u2} + \Delta W_{\Delta t1} + \Delta W_{\Delta t2} + \Delta W_{\Delta t3}, \quad (10)$$

где $\Delta W_{\Delta t}$ – уменьшение удельного расхода электрической энергии при снижении температуры выпуска металла на Δt , кВт·ч/т; ΔW_{u1} – снижение удельного расхода электрической энергии при уменьшении удельного расхода известняка на Δm_{u1} , кВт·ч/т; ΔW_{u2} – снижение удельного расхода электрической энергии при уменьшении удельного расхода извести на Δm_{u2} , кВт·ч/т; $\Delta W_{\Delta t1}$ – снижение удельного расхода электрической энергии при сокращении времени окислительного периода на $\Delta \tau_{ок}$, кВт·ч/т; $\Delta W_{\Delta t2}$ – снижение удельного расхода электрической энергии при сокращении времени восстановительного периода на $\Delta \tau_{в}$, кВт·ч/т; $\Delta W_{\Delta t3}$ – снижение удельного расхода электрической энергии при сокращении времени простоев печи и увеличении количества плавков за сутки на Δp , кВтч/т;

$$\Delta W = 0,2363\Delta t + 0,82\Delta m_{u1} + 0,59\Delta m_{u2} + 2,196\Delta \tau_{ок} + 1,618\Delta \tau_{в} + 16,67\Delta p. \quad (11)$$

Например, возможная экономия электрической энергии при отсутствии перегрева металла сверх нормы на 50 °С (необходим более точный контроль и управление режимом плавки), снижении расхода известняка на 60 кг/т, уменьшении длительности окислительного и восстановительного периодов на 10 мин каждого и обеспечении непрерывной работы печи составит:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 0,2363 \cdot 50 + 0,82 \cdot 60 + 2,196 \cdot 10 + 1,618 \cdot 10 + 16,67 \cdot (4...7) = \\ &= 11,8 + 49,2 + 22 + 16 + (67...117) = 166...216 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}. \end{aligned}$$

Приведенные значения свидетельствуют о том, что наибольший эффект по сокращению расхода электрической энергии в рассматриваемых условиях обеспечивает непрерывный процесс работы печей без длительных простоев.

Анализ рабочих электрических характеристик дуговых печей показал, что отклонение от оптимальных электрических режимов может приводить к дополнительным потерям в количестве 10–20 % от общего расхода электрической энергии на плавку, поэтому плав-

ку нужно проводить, учитывая электрические характеристики печной установки.

Заключение. Предложена расчетная методика анализа эффективности применения средств интенсификации плавки, включающая предварительный расчет себестоимости выплавляемой стали, выбор соответствующих структуре себестоимости мероприятий, анализ эффективности выбранных мероприятий с учетом емкости печи и технологических параметров плавки и внепечной обработки.

Ключевым моментом в оценке эффективности применения средств интенсификации плавки является первичный анализ составляющих себестоимости выплавляемых сталей. В зависимости от полученных результатов выбирается дальнейшее направление совершенствования технологии. Если в себестоимости основную долю затрат составляют затраты на материалы, то в этом случае наиболее эффективными мероприятиями будут: расширение методов контроля состава металлошихты и ее сортировка, предварительная подготовка металлошихты, оптимизация технологии с целью максимального сохранения ценных легирующих элементов, модифицирование стали и разработка альтернативных вариантов выплавки экономнолегированных марок стали при использовании операции модифицирования. Основным эффектом при интенсификации плавки при этом заключается в увеличении объема производства в денежном выражении.

Если в себестоимости значительную долю затрат составляют затраты на топливо и электрическую энергию, то в этом случае следует уделить внимание следующим мероприятиям: предварительный нагрев металлошихты, оптимизация технологии с целью уменьшения времени плавки в окислительном и восстановительном периоде, снижение перегрева металла, использование кислорода для продувки ванны, использованию альтернативных источников энергии в виде горелочных устройств, совершенствование конструкции с целью увеличения надежности и уменьшения потерь энергии, уменьшение простоев печи и др.

При сопоставимых затратах на материальные и энергетические ресурсы возможно использование различных комбинаций из перечисленных мероприятий. Эффективной мерой является исключение из технологического цикла плавки методом переплава в основных электродуговых печах с заменой на плавку методом переплава в

кислых печах. Особое внимание следует уделять организации производства для исключения простоев печи между плавками, так как при этом отмечаются большие потери энергии.

Литература

1. Егоров, А.В. Расчет мощности и параметров электропечей черной металлургии / А.В. Егоров. – М.: Металлургия, 2000. – 272 с.

2. [Электронный ресурс]. URL. – Режим доступа: <http://bvm.by/pricelist/prejskuranti>. – Дата доступа: 05.09.2013.

3. Крамаров, А.Д. Производство стали в электропечах / А.Д. Крамаров. – М.: Металлургия, 1969. – 348 с.