

А. Ю. Спивак, к. т. н.; Л. А. Боднар, к. т. н.; Р. В. Сливко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕЧИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ОБМАЗКИ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

В статье экспериментально исследованы и проанализированы основные проблемы, возникающие при работе печи для сушки и прокаливания сварочных электродов с рутиловым покрытием. Разработан комплекс мероприятий по энергосбережению на предприятии.

Ключевые слова: сушильный агент, электрод, печь, рециркуляция.

Введение

Сварочные электроды широко используют в различных отраслях промышленности. Термообработку электродов проводят с целью придания покрытию достаточной механической прочности при содержании в нем влаги в пределах, способствующих нормальному протеканию сварочного процесса, что позволяет обеспечить заданный химический состав и свойства наплавленного металла и сварных соединений. От качества электрода, от его влажности зависит прочность сварочного шва [1].

Процесс сушки и прокаливания электродов проходит в печах специальных типов, которые, как правило, являются электрическими.

В связи с постоянным ростом цен на энергоресурсы, возникает потребность в разработке мероприятий по энергосбережению в различных отраслях производств, в том числе и производстве сварочных электродов. Проблема экономии энергоресурсов в теплотехнических установках остаётся актуальной на протяжении десятков лет.

Промышленные исследования энергозатрат в различных печах (Г-232, ППТК-15 ЦРМЗ) для сушки и прокаливания электродов проведены в работах [2, 3], где авторы выделяют основные проблемы в процессе работы таких печей, выявляют причины высокого потребления энергии, а также предлагают ряд мероприятий по энергосбережению.

Авторами данной статьи проведен цикл исследований энергоэффективности работы постоянно действующих печей для сушки и прокаливания электродов с рутиловым покрытием на предприятии.

Цель работы – исследование причин неэффективной работы печей, высокого энергопотребления, а также разработка мероприятий по устранению выявленных недостатков.

Основная часть

Сфера применения рутиловых электродов – сварка конструкций из малоуглеродистых сталей в строительстве и машиностроении. Конечное влагосодержание таких электродов должно составлять $u_k=0,1..0,3\%$.

Процесс сушки и прокаливания электродов происходит в два этапа: первый продолжительностью $\tau_1 = 0..40$ мин., температура сушильного агента (воздуха) $t_{el}= 25..120\text{ }^{\circ}\text{C}$, второй – $\tau_2 = 40$ мин, $t_{el}= 120..150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Электрическая мощность печи составляет 150 кВт, расчетная масса загружаемых электродов – 750 кг. Технологический процесс предусматривает также провяливание электродов, т. е. перед подачей в печь они проходят через термотуннель, вследствие чего уменьшается начальная влажность (от $u_n=7,7 - 9,3\%$ после опрессовки до $7,25\%$ после термотуннеля). Довольно часто на предприятии провяливание происходит путем выдержки электродов в цехе при температуре окружающей среды или обдува электродов воздухом в печи.

Внутреннее строение печи приведено на рис. 1, а система поступления и вытяжки воздуха – на рис. 2.



Рис. 1. Внутреннее строение печи

С целью исследования эффективности работы печи исследования проводили во время работы печи в производственных условиях. Полный цикл термообработки включает: предварительную сушку, сушку, прокаливание и охлаждение. В данном типе печи проходят процессы сушки и прокаливания. Предварительная сушка проходит в термотуннеле, а охлаждение – в цеху. В верхней части расположены три вентилятора марки ДЕ-190. Вентиляторы нагнетают свежий воздух в распределительные короба, где расположены 30 электронагревателей мощностью по 5 кВт каждый. Отработанный влажный воздух эжекционно удаляют через систему отверстий в верхней части печи (на рис. 2 трубопровод желтого цвета).

Из-за неудачной реконструкции печи в процессе термообработки электродов возникают различные проблемы: неравномерное просушивание электродов (конечная влажность на разных рамках может колебаться в широких пределах). Существующая система вытяжки воздуха неэффективно удаляет влажный сушильный агент, поэтому на предприятии при работе печи несколько раз открывают дверь, после этого горячий влажный воздух выходит в цех. Это приводит к потерям теплоты.

На рис. 3 приведены результаты работы печи для трех загрузок, которые происходили в течение одного дня (с 12⁰⁵ до 18¹⁰). На протяжении эксперимента измеряли следующие параметры: температуру в печи, относительную влажность воздуха, температуру воздуха на вытяжке, температуру точки росы, потребляемую мощность печи, влажность обмазки электродов. Измерения проводили приборами лаборатории предприятия-изготовителя электродов. Перед загрузкой взвешивали массу электродов и рамок. В процессах сушки электроды загружали в печь на рамках двух типов: обычных и облегченных. Облегченные рамки были изготовлены из обычных путем удаления некоторых элементов.

Первая загрузка (рис. 3 а)

Температура в цехе – 25 °С. Рамки облегченные (вес 2,25 кг) (рис. 4). Электроды прошли термотуннель. Вес сухих электродов на одной рамке 4,5 – 4,8 кг. Влагомер расположен в задней стенке печи. Вес загруженных в печь электродов примерно 1041 кг. Электроды сложены плотно друг к другу в 1 – 2 ряда. В процессе обработки они слипаются в "лепешки", просушиваются неравномерно. Исследования показали, что электроды на облегченных рамках просушиваются быстрее, чем на обычных, после 60 минут прокаливания влагосодержание электродов составляет 0,19 % в облегченных и 0,8 % на обычных. Потребляемая мощность печи в процессе прокаливании электродов – 93,6 кВт. После 60 минут прокаливании электроды имели влажность 0,16 – 0,19 %, что соответствует нормативному значению (стандарт $u_e \leq 0,7 \%$), влагосодержание электродов на обычных рамках 0,21 %.



Рис. 2. Система подачи и вытяжки воздуха прокаточной печи

Вторая загрузка (рис. 3 б)

Электроды загружены на большие рамки (рис. 4). Запуск печи происходит при температуре в камере +57 °С. Электроды прошли термотуннель. Термообработку проводили в два этапа: сушка при температуре до 120 °С продолжительностью 50 мин и прокаливание при температуре 140 °С продолжительностью 50 мин. Если воздух нагревается до 120 °С, тены с помощью регулятора температуры выключаются. При охлаждении печи до 115 °С тены включаются в работу – и воздух в печи прогревается до нужной температуры. Электроды в рамках размещены в два, три ряда, что приводит к неравномерному прокаливанию электродов. Часть электродов прокалена качественно (содержание влаги 0,39 %), а другая часть содержит избыток влаги более 1,5 %. Электроды на крупных рамках слипаются "лепешками", поскольку они плохо продуваются сушильным агентом. Также при слипании электродов возникают продольные трещины почти на всю длину. Вес прокаленных электродов на одной рамке 6,5 – 7,12 кг. Вес одной загрузки примерно 1523 кг. Потребляемая мощность печи в процессе прокаливании электродов 88,8 кВт. Вес большой рамки (2,88 кг). После 85 минут прокаливании электроды имели влажность 0,39 %, что соответствует нормативному значению (стандарт

$u_e \leq 0,7 \%$). Из проведенных исследований видно, что можно уменьшить потребление электроэнергии за счет уменьшения процесса прокаливания электродов на 5,6 кВт.

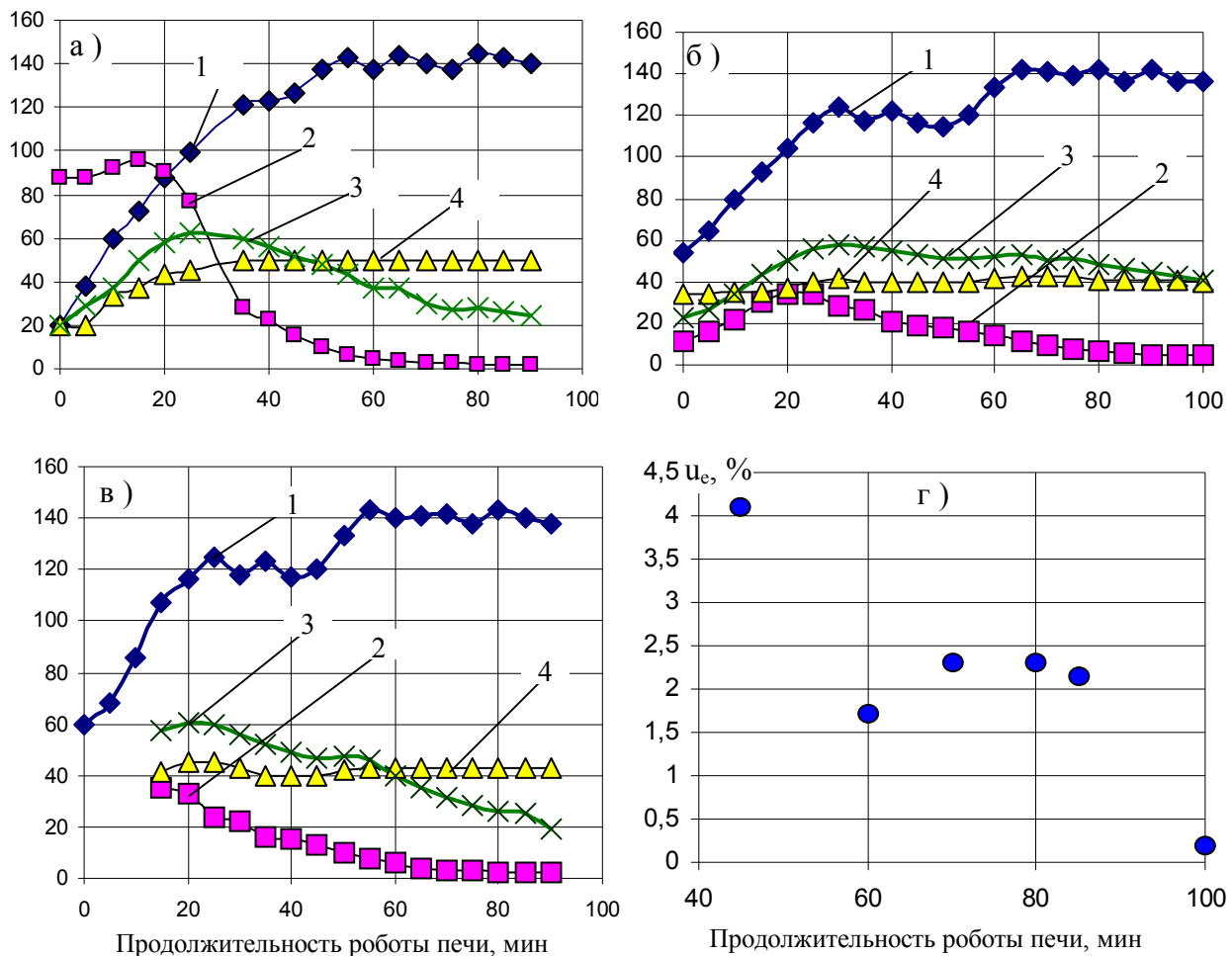


Рис. 3. Результаты исследований работы печи: а) первая загрузка; б) вторая загрузка; в) третья загрузка; г) изменение влагосодержания обмазки электродов для второй загрузки
1 – температура в печи, °С; 2 – относительная влажность воздуха, %; 3 – температура точки росы, °С; 4 – температура воздуха на вытяжке, °С

Третья загрузка (рис. 3 в)

Температура в цехе – 25 °С. Электроды расположены на малых рамках весом 2,25 кг. Электроды после термотуннеля. Вес сухих электродов на одной рамке 4,5 – 4,8 кг. Влагомер расположен в задней стенке печи. Причем электроды были загружены на рамках двух типов: облегченных и обычных. Вес загрузки – 1040 кг. Электроды сложены плотно друг к другу в 1 – 2 ряда, на некоторых рамках слипаются в "лепешки", просушиваются неравномерно. Электроды на облегченных рамках просушиваются быстрее, чем на обычных. После 60 минут работы печи влагосодержание электродов 0,21 % на облегченных рамках (вес 2,25 кг) и 0,28 % на обычных рамках. Потребляемая мощность печи в процессе прокаливания 80 кВт. После 60 минут прокаливания электроды имели влагосодержание 0,16 – 0,19 %, что соответствует нормативному значению. В результате исследований установлено, что можно уменьшить потребление электроэнергии за счет уменьшения продолжительности процесса прокаливания электродов на 11,2 кВт.

Анализ исследований работы печи (рис. 3) показывает, что запуск печи при температуре 57 и 60 °С (для второго и третьего опытов соответственно) позволяет быстрее достичь тем-

пературы в печи $120\text{ }^{\circ}\text{C}$: на 25 минуте для второго опыта и на 22 минуте для третьего. При этом, как отмечалось выше, электронагреватели с помощью автоматики выключаются. Это, в свою очередь, позволяет экономить электроэнергию. Если для первой загрузки потребляемая мощность печи составила 93,6 кВт, то для второго и третьего – 88,8 и 80 кВт соответственно.

Другие показатели работы печи, приведенные на рис. 3, необходимы для дальнейших исследований кинетики процессов сушки обмазки сварочных электродов.

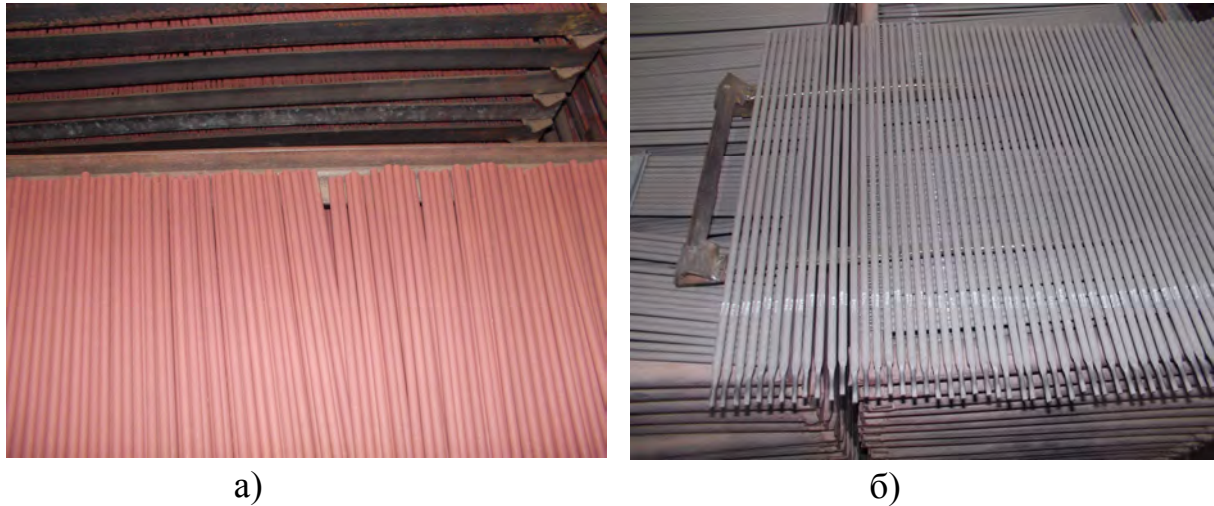


Рис. 4. Расположение электродов на а) обычных и облегченных рамках

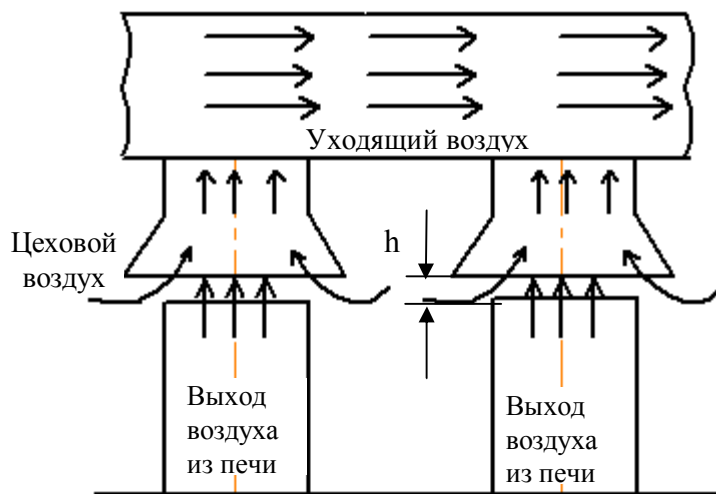


Рис. 5. Схема вытяжки влажного воздуха из печи

Продолжительность термообработки для второго опыта самая длительная, поскольку масса загружаемых электродов почти в 1,4 раза больше, чем для первого и третьего. При этом наблюдался резкий скачок влажности обмазки электродов (рис. 3 г) на 60 минуте работы печи. При повышенных температурах сушки (жесткие режимы сушки) в органических компонентах обмазки могут возникать реакции газообразования. Образовавшиеся газы выходят по капиллярам наружу обмазки, выталкивая перед собой влагу макро- и микрокапилляров. Этим можно объяснить некоторое повышение влагосодержания обмазки при переходе к более высоким температурам сушки покрытия электродов. После тридцати минут эксперимента в печи накопилось значительное количество влажного воздуха, которое сущест-

вующая система вентиляции (рис. 5) неэффективно удаляла. Вентиляторы на подаче воздуха работали на полную мощность, но пришлось открывать дверь печи для удаления влажного воздуха, поэтому увеличение производительности печи без реконструкции системы вытяжки невозможно.

Авторами проведен аэродинамический расчет существующей системы вытяжки, разработаны рекомендации по ее реконструкции в случае работы печи на увеличенной производительности. Обозначим только, что необходимо установить дополнительный вентилятор на вытяжке, который будет выполнять функцию регулятора влажности агента сушки и будет включаться автоматически в случае значительного накопления влажного воздуха в рабочем пространстве печи. Это, в свою очередь, требует переоснащения существующей системы автоматики. Нужно также подкорректировать высоту h (рис. 5) для лучшего удаления воздуха.

Следует отметить, что проектная мощность печи 150 кВт, а в процессе термообработки используется лишь 70 % мощности. То есть имеем значительный резерв в этом направлении.

Масса загружаемых металлических изделий (рамок и вагонеток) составляет около 400 кг. На разогрев такой массы металла затрачивается 10 – 13,5 кВт·ч электрической энергии. В случае уменьшения массы рамок можно сэкономить на электрической энергии (3,5 – 5 кВт·ч). Поскольку на предприятии расположено десять печей такого типа, а за сутки в печь загружают электроды по 5 раз, то годовая экономия средств может быть весьма существенной. Таким образом можно также уменьшить брак продукции, связанный с неравномерной просушкой электродов. Как видно из рис. 4а, обычные рамки достаточно закрывают электроды по сторонам – и горячий воздух неравномерно просушивает их. После удаления некоторых элементов рамок их масса уменьшилась, а равномерность просушки обмазки электродов увеличилась.

Поскольку расход электроэнергии зависит от многих факторов [3], то уменьшение энергозатрат возможно лишь тогда, когда в печи будут сконцентрированы наиболее весомые факторы экономии энергии.

Выводы

1. Необходимо соблюдать проектные нормы массы загружаемых электродов.
2. С целью лучшего теплообмена в печи необходимо установить отбойные пластины, которые будут направлять поток воздуха от вентилятора непосредственно на электроды; это обеспечит лучшую циркуляцию воздуха вокруг вагонеток с электродами.
3. Для предотвращения ухудшения качества продукции электроды следует располагать равномерно в рамках (а не насыпью).
4. Для уменьшения потерь теплоты на нагревание рамок и вагонеток (транспортных средств) следует применять рамки специальной конструкции, разработанные авторами, что позволяет экономить 3 – 5 кВт·ч электроэнергии за одну загрузку. Необходимо изготовить несколько комплектов таких рамок с целью сокращения продолжительности между загрузками.
5. С целью экономии электроэнергии продолжительность между загрузками в одной печи должна быть минимальной, это уменьшает потери теплоты в окружающую среду.
6. Для качественного и равномерного просушивания электродов необходимо усовершенствовать приточно-вытяжную систему вентиляции печи, а также дополнительно установить вентилятор, который будет выполнять функцию регулятора влажности агента сушки. Необходимо установить новейшую автоматику на печи с целью более качественного контроля за основными производственными показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов Н. Н. Сварочные материалы для дуговой сварки / Потапов Н. Н. – М. : Машиностроение. – 1993. – 256 с.
2. Промышленные исследования энергозатрат в печах для сушки и прокали сварочных электродов [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http: www. svarkainfo. Ru](http://www.svarkainfo.ru).
3. Шелепов Е. П. Энергозатраты в печах для сушки и прокали сварочных электродов / Е. П. Шелепов // Сварочное производство. – 2006. – № 5. – С. 20 – 25.

Спивак Александр Юрьевич – к. т. н., доцент кафедры теплоэнергетики.

Боднар Лилия Анатольевна – к. т. н., ст. преподаватель кафедры теплоэнергетики.
Винницкий национальный технический университет.

Сливко Роман Владимирович – инженер фирмы "Энергострой".
Фирма "Энергострой".