

PhD in Engineering Protsenko M. Yu., PhD student Voron'ko M. I., assistant Protsenko V. I.
(SEI HPE LPR "DonSTU", Alchevsk, LPR)

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE ORE-REDUCING MIXTURE OF THE PROCESS OF ARC DEPTH REDUCTION OF SILICON ON ITS SPECIFIC ELECTRIC RESISTANCE

The paper presents the results of studies on the effect of the type of binder additive, its amount and the proportion of reducing agent in the composition of the ore-reducing mixture of blocks for arc deep reduction of silicon on its specific electrical resistance. According to the results of statistical processing of the experimental data, dependencies are obtained, based on which the necessary composition of the ore-reduction mixture is determined, which provides a lower probability of breakdown of the electric arc into the melt.

Keywords: *electrical resistance, ore-reduction mixture, deep arc reduction, coke, binder, cement, water glass, coal tar pitch.*

УДК 669.04:669.046.558.3

Проценко М. Ю.

к.т.н., доц.,

Воронько М. И.

асс.,

Заведия В. С.

с.н.с. НИПКИ «Параметр»

ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», г. Алчевск, ЛНР

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОЦЕСС ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Проведен анализ различных методов определения затрат электроэнергии на процесс дугового глубинного восстановления элементов и установлена достоверность получаемых с их помощью результатов.

Ключевые слова: *дуговое глубинное восстановление, затраты электроэнергии, электрические параметры, себестоимость, внепечная обработка расплава.*

Основная часть рудно-термических процессов, в частности ферросплавные процессы, требуют подведения в реакционную зону большого количества тепла. Это достигается за счет подведения в реакционную зону электрической энергии, которая в следствии горения электрической дуги преобразуется в тепловую. Для процессов производства ферросплавов учет расхода электроэнергии является важным параметром, т. к. данная величина занимает основную статью затрат в их себестоимости. Производство ферросилиция является наиболее энергоемким, а чем больше содержание кремния в сплаве, тем выше энергоемкость процесса. При производстве ферросилиция (ФС) с содержанием в сплаве кремния 45 %, 65 %, 75 % затраты электроэнергии составляют 10,0÷11,2 кВт·ч/кг, 10,9÷11,9 кВт·ч/кг и 11,3÷13,5 кВт·ч/кг кремния соответственно. Доля расхода электроэнергии в себестоимости ФС65 может достигать 60 %, а ФС75 — 70–75 % от общих затрат на его производство. Затраты электроэнергии при производстве 78 % ферромарганца составляют 2,6÷6,7 кВт·ч/кг марганца, а для 17 % и 20 % ферросиликомарганца составляет 3,6÷4,4 кВт·ч/кг и 4,4÷6,1 кВт·ч/кг суммы марганца и кремния соответственно. Постоянный рост цены на электроэнергию существенно влияет на технико-экономические показатели производства ферросплавов [1].

Исследуемая технология дугового глубинного восстановления элементов (ДГВ) аналогична процессам получения ферросплавов, но может использовать в качестве основного рудного сырья шлаки и шламы, образующиеся на различных этапах производства стали и

ферросплавов, мелкодисперсные фракции сырья, использование которых в производстве ферросплавов ограничено и различное вторичное сырье. Данный метод так же, как и ферросплавные процессы, требует больших затрат электроэнергии на процесс. Правильное определение энергетических затрат на процесс ДГВ является важным, так как это влияет на рентабельность процесса в целом.

Основная сущность метода ДГВ заключается в восстановлении полезных элементов из определенного вида сырья в зоне электрической дуги с использованием различных восстановителей [2]. При проведении экспериментов, по легированию чугуна марганцем и кремнием по методу ДГВ, затраты на электроэнергию составили $43 \div 66$ % (среднее 55,6 %) от стоимости внепечной обработки, что свидетельствует о достаточно высокой конкурентоспособности предложенного способа. Такой вывод авторами был сделан на основании анализа калькуляций себестоимости процесса производства марганцевых и кремниевых ферросплавов. Доля затрат на шихтовые материалы в себестоимости марганцевых и кремниевых ферросплавов составляет $35 \div 40$ %, и такая же доля затрат связана с расходом технологической электроэнергии. При дуговом восстановлении доля затрат на шихту в себестоимости не превышает $10 \div 15$ % и процесс будет рентабельным, если затраты на электроэнергию будут находиться в пределах $55 \div 70$ %.

В работе [3] для процесса ДГВ кремния в качестве основного рудного сырья использовали песок. Однако в работе авторы не проанализировали удельные затраты электроэнергии на процесс восстановления кремния методом ДГВ.

Для объективной оценки затрат электроэнергии при реализации метода ДГВ были рассмотрены несколько способов оценки показаний расхода электроэнергии на процесс.

На первых этапах оценки показаний расхода электроэнергии на процесс ДГВ использовали расчетный метод, который производился с помощью видео фиксации показаний вольтметра и амперметра, установленных на ТИР-630, с последующим расчетом фактических затрат электроэнергии по величине силы тока и напряжения. Данный способ показал себя как довольно трудоемкий, не позволяющий достигнуть достаточной точности измерений в следствии присутствия человеческого фактора. Для более точного определения затрат электроэнергии более рационально использовать приборы регистрации и учета электрической энергии, т. е. в условиях лабораторного комплекса кафедры «металлургия черных металлов» — электрические счетчики.

Внепечная обработка методом ДГВ характеризуется малыми объемами потребляемой энергии ($0,5 \div 2$ кВт·ч) и кратковременностью процесса (до 12 мин), при величине потребляемого тока до 70 А и напряжении 380 В, а также требует применения трансформаторов тока совместно с приборами учета электроэнергии, что уменьшает показания приборов учета в разы (коэффициент уменьшения может составлять 20–40 раз). Показания прибора учета в этом случае составят $0,0125 \div 0,1$ кВт·ч, что может быть меньше минимального разряда шкалы прибора. Нелинейность нагрузки вызванная применением источника питания электрической дуги ТИР-630, в состав которого входят полупроводниковые приборы и дроссели насыщения, генерирующие высшие гармоники тока и частичную рекуперацию энергии в сеть, что не обеспечивает требуемую точность измерения энергозатрат. Данные электрические параметры накладывают ограничения на выбор приборов учета и способы измерения энергозатрат в процессе ДГВ.

Для измерения количества электроэнергии с помощью приборов регистрации изначально был использован трехфазный индукционный счетчик типа СА4У-И672М класса точности 2, с трансформаторами тока с коэффициентом трансформации, равным 20. Такой счетчик обеспечивает 450 оборотов диска на 1 кВт·ч измеряемого счетчиком количества электроэнергии. Таким образом, минимальная регистрируемая величина — 1 оборот диска (дискретность) составляет 0,044 кВт·ч потребленной электроэнергии. При небольших величинах потребленной в процессе ДГВ электроэнергии (2 кВт·ч) полученная дискретность не обеспечивала достаточной точности измерений, которая составляла не более $\pm 0,1$ кВт·ч при общих затратах на процесс $0,8 \div 2,1$ кВт·ч.

Кроме того, процесс измерения требует визуального подсчета количества оборотов диска счетчика, что доставляет неудобства и зависит от влияния человеческого фактора, а уменьшенные в 20 раз показания существенно снижают точность измерения.

Для повышения точности и удобства измерений была предложена схема на основе двух однофазных прямоточных счетчиков типа СО-И449, класса точности 2, показанная на рисунке 1 блок А. Токовая обмотка такого счетчика рассчитана на номинальный ток 40 А, что позволило исключить использование трансформаторов тока. Для согласования обмотки напряжения счетчика с питающей сетью использован трансформаторный делитель напряжения с коэффициентом деления 2. Помимо обычной цифровой шкалы для повышения дискретности измерений счетчик имеет дополнительную шкалу на 80 делений, которая соответствует 0,1 кВт·ч измеряемой счетчиком электроэнергии. С учетом делителя напряжения минимально регистрируемая одним счетчиком величина 1 деления дополнительной шкалы составляет 0,0025 кВт·ч потребленной электроэнергии.

Таким образом, дискретность измерений в предложенной схеме повышается в 17,6 раз по сравнению с дискретностью измерений трехфазным счетчиком, что приводит к повышению точности измерений в 2 раза. Точность измерений в этом случае составит ~2,1 %.

Недостатком данного метода измерения является наличие трансформаторного делителя напряжения, который не является метрологически поверенным измерительным прибором и требует калибровки, что снижает достоверность полученных результатов измерения.

Для подтверждения достоверности полученных результатов измерения при использовании двух однофазных прямоточных счетчиков типа СО-И449 предложен способ измерения количества электричества с помощью анализатора параметров сети ДМК-62 (рис. 1, блок Б). ДМК-62 — современный цифровой прибор, сертифицирован в РФ, имеет класс точности 1 [4]. При помощи установки (ввода) величины коэффициента трансформации по измеряемому току 2000 получена дискретность измерений 0,002 кВт·ч с учетом применения согласующих трансформаторов тока с коэффициентом трансформации 40. Точность измерений прибора ДМК-62 составила ±1,1 %.

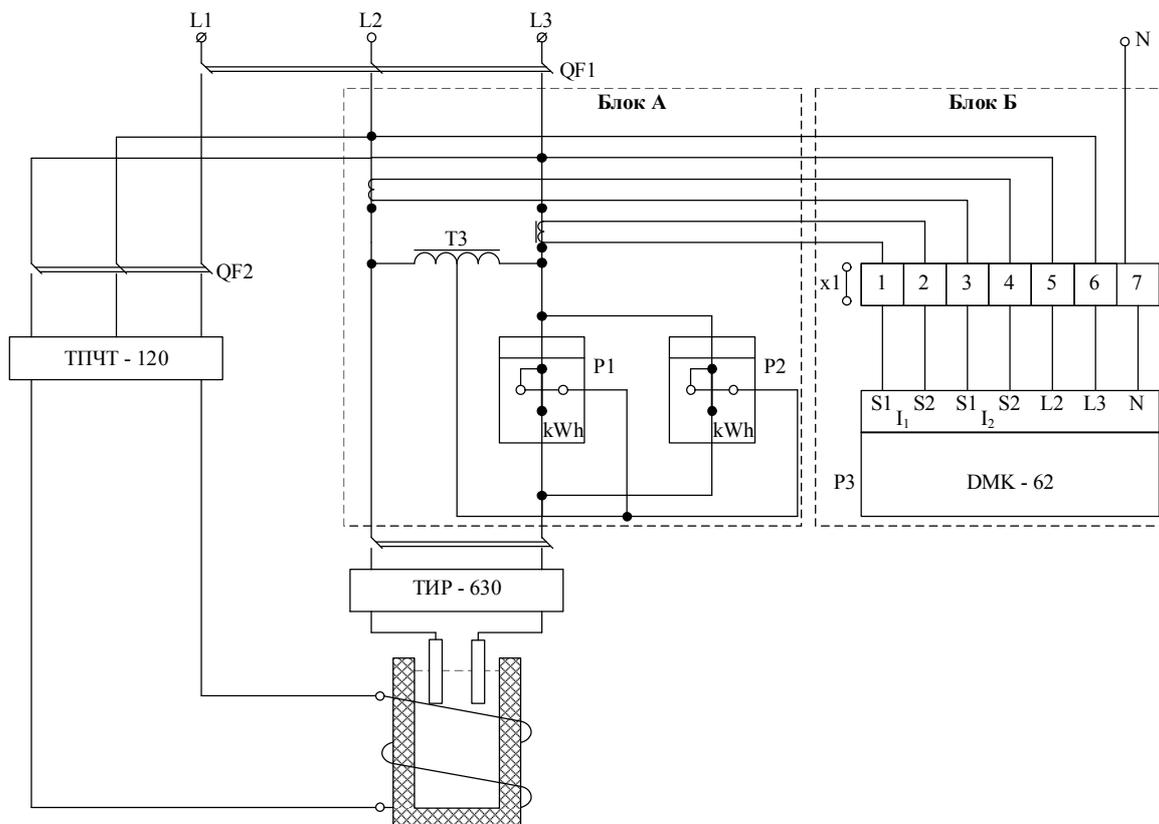


Рисунок 1 — Схема измерений затрат электроэнергии при ДГВ с двумя счетчиками СО-И449 (блок А) и ДМК-62 (блок Б)

Проведенные экспериментальные измерения количества электричества при работе на активную линейную нагрузку зафиксировали, что показания ДМК-62 несколько выше показаний схемы с двумя счетчиками на 2 %, что находится в пределах класса точности приборов. Следует отметить, что при внепечной обработке железоуглеродистых расплавов методом ДГВ используется источник питания ТИР-630, питающий электрическую дугу, в котором используются дроссели насыщения. Такой комплекс является нелинейной нагрузкой и источником высших гармоник тока.

Согласно работе [5], нелинейные нагрузки являются генераторами высших гармоник. Получая энергию из энергосистемы по каналу первой гармоники, они частично ее преобразуют в энергию высших гармоник, которая возвращается обратно в сеть и распределяется между другими потребителями. В данных условиях счетчики электрической энергии, рассчитанные для учета электроэнергии, передаваемой на частоте 50 Гц, имеют увеличение погрешности, по отношению к обозначенной классом точности в 1,5–2,5 раза.

При внепечной обработке металла методом ДГВ затраты электроэнергии с применением расчетного метода составляли $0,481 \div 1,225$ кВт·ч, что на 21 % выше схемы с двумя счетчиками ($0,535 \div 0,857$ кВт·ч), и на 13 % выше чем при применении ДМК-62 ($0,594 \div 0,924$ кВт·ч), показания ДМК-62 выше показаний схемы с двумя счетчиками примерно на 8 %. При проведении измерений прибором ДМК-62 были зарегистрированы третья и пятая гармоники тока, а также частичная рекуперация энергии в сеть, что подтверждает нелинейный характер нагрузки. Влияние нелинейности нагрузки отразилось на увеличении различий в показаниях прибора ДМК-62 и схемы с двумя счетчиками.

Таким образом, для определения энергозатрат процесса ДГВ могут быть применены как схема с двумя счетчиками, так и прибор ДМК-62, причем последний обеспечивает более высокую точность измерений. Снижение показаний индукционных счетчиков по сравнению с показаниями прибора ДМК-62 в сетях с нелинейной нагрузкой вызвано тем, что высшие гармоники тока, возникающие при нелинейных нагрузках, оказывают «тормозящее» действие на вращающийся диск счетчика, поскольку возвращают часть энергии обратно в сеть. Однако для коммерческого учета электроэнергии это не имеет существенного значения, поскольку возвращенная в сеть энергия будет распределена между другими потребителями. Прибор ДМК-62 имеет возможность учитывать отдельно потребляемую и отдаваемую в сеть электроэнергию.

Список литературы

1. Зубов, В. Л. Электрометаллургия ферросилиция / В. Л. Зубов, М. И. Гасик. — Днепропетровск : Системные технологии, 2002. — 704 с.
2. Проценко, М. Ю. Сравнение эффективности легирования металла ферросплавами и методом дугового глубинного восстановления / М. Ю. Проценко, С. В. Куберский, В. С. Эссельбах // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2011. — Вып. № 35. — С. 211–220.
3. Куберский, С. В. Использование метода дугового глубинного восстановления для извлечения кремния из песка в железоуглеродистые расплавы / С. В. Куберский [и др.]. // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2019. — Вып. № 57. — С. 37–45.
4. Официальный сайт LOVATO Electric [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.lovatoelectric.com> (10.02.2020).
5. Кириллов, С. В. Снижение погрешности учета электроэнергии в системах электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / Кириллов Сергей Викторович; РГБ ОД. — Мичуринск, 2006. — 154 с.

© Проценко М. Ю.
© Воронько М. И.
© Заведия В. С.

PhD in Engineering Protsenko M. Yu., PhD student Voron'ko M. I., Senior Researcher Zavedia V.S.
(SEI HPE LPR "DonSTU", Alchevsk, LPR)

ANALYSIS OF DIFFERENT METHODS FOR DETERMINING ELECTRICITY COSTS FOR THE PROCESS OF ARC DEPTH RECOVERY OF ELEMENTS

The analysis of various methods for determining the cost of electricity for the process of arc deep recovery of elements is carried out and the reliability of the results obtained with their help is established.

Keywords: *deep arc reduction, energy costs, electrical parameters, cost price, after-furnace melt processing.*

УДК 622.73:06-52

Коваленко О. А.

к.т.н.,

Куберский С. В.

к.т.н., проф.,

ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», г. Алчевск, ЛНР,

Мурга Е. В.

г. Алчевск, ЛНР

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Приведены результаты анализа исследований твердости, износостойкости и микроструктуры инструментальных сталей при различных режимах лазерного упрочнения.

Ключевые слова: *упрочнение поверхности, лазерная обработка, износостойкость, твердость, режим питания лазера.*

Анализ различных способов упрочнения [1] позволяет установить, что для повышения стойкости наиболее рациональным является создание на поверхности слоя материала со структурой и комплексом свойств, обеспечивающих расширение диапазона нормального трения и снижение интенсивности изнашивания, позволяющего получить твердые, износостойкие поверхностные слои на различных металлических материалах. В настоящее время одним из эффективных и распространенных способов поверхностного упрочнения материалов является лазерное упрочнение, рассматриваемое в данном докладе.

Основной целью данного исследования являлось увеличение износостойкости рабочих поверхностей деталей и инструментов, изготовленных из сталей Р6М5, ШХ15 и твердого сплава Т5К10 за счет получения новых экспериментальных данных и их анализа для различных режимов лазерного упрочнения.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

– изучение микроструктуры и глубины упрочненных слоев при различных режимах накачки;

– определение твердости упрочненной поверхности;

– определение износостойкости;

– разработка режима лазерного упрочнения при использовании сложного режима накачки.

Изучение микроструктуры и глубины упрочненного слоя металлографическим методом [2] выполнялось с использованием оптического микроскопа МИМ-8. Травление исследуемой поверхности образцов проводилось 3 % раствором HNO_3 в спирте. Для оценки глубины слоя применялся объектмикрометр и окулярмикрометр. Цена деления объектмикрометра 0,1 мм, при использовании увеличения микроскопа $100\times$ цена деления составляет 0,001 мм. Окулярмикрометр использовался для оценки погрешности, которая составляла допустимую величину (2–2,5 %).