

жений появляются дополнительные возможности исследования и контроля состояния материалов, моделирующих реальные условия работы объекта при эксплуатации. Значительно расширяются функциональные возможности испытательной техники за счет упрощения и универсализации конструкции, увеличивается производительность и достоверность испытаний. Отличается простотой конструкции и удобством при эксплуатации в сравнении с аналогичным оборудованием. Появляется возможность создавать в образце одновременно и независимо двухчастотные знакопеременные циклические напряжения с возможностью регулирования частот нагружений и амплитуд напряжений.

1. Воробьев А.З., Олькин Б.И., Стебенев В.Н.

Сопrotивление усталости элементов конструкций – М.:Машиностроение. – 1990.– 240 с.

2. Энциклопедия по машиностроению. В 40 т. Под ред. акад. Фролова К.В. – М.: 1994 – 2012.

3. Бусько В.Н. Лабораторная установка для исследования усталостной повреждаемости плоских ферромагнитных образцов / Приборы и техника эксперимента. – 2011. №1. – С. 165-167.

4. Патент РБ 5248 Устройство для испытания плоских образцов на усталость / Бусько В.Н., Венгринович В.Л., Довгялло А.Г.; заявитель – ГНУ «ИПФ НАН Беларуси» // Аф. Бюлл. № 2, 2009. – С. 202-203.

УДК 621.78.062.2

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА В КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕРАХ

Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Садоменко С.Л.

*Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Минск, Республика Беларусь*

Технологические процессы химико-термической обработки металлов, в частности газовой цементации, характеризуются высокой энергоемкостью и чувствительностью к отклонениям от оптимальных параметров процесса. Управление процессом газовой цементации для получения необходимого содержания или профиля концентрации углерода в металле предполагает измерение уровня углерода в печной атмосфере. Это может быть осуществлено непосредственным или косвенными способами.

Прямой метод связан с размещением в печи образцовой металлической фольги и основан на том, что содержание углерода в тонкой стальной фольге, помещенной в печь, через некоторое время достигает уровня углерода в печной атмосфере и для оперативного контроля процесса непригоден, но в силу простоты реализации и достаточной для практических целей точности широко используется для контроля косвенных методов измерения.

Используемые на практике косвенные методы сводятся к двум: основанные на измерении концентраций оксида и диоксида углерода (методы инфракрасного газового анализа) и содержанию кислорода и оксида углерода в науглероживающей атмосфере печи. Для расчета уровня углерода указанными методами в наиболее часто используемых печных атмосферах рассчитаны соответствующие корреляционные выражения [1].

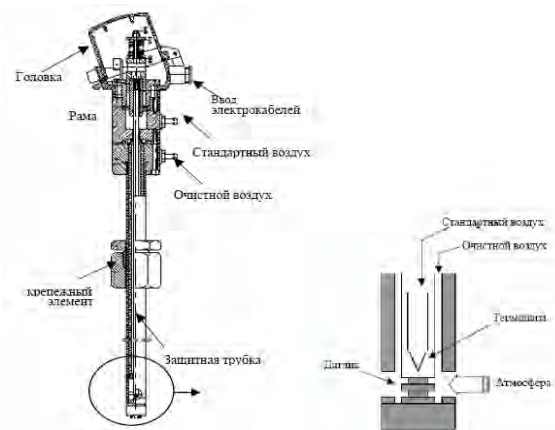
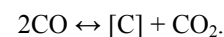


Рисунок 1 – Устройство датчика кислорода

Рассмотрим основные соотношения для этих методов. Для определения углеродного потенциала по содержанию оксида и диоксида углерода в науглероживающих газах основополагающей является реакция



Теоретической основой служит термодинамическое соотношение между содержанием CO , CO_2 в печной атмосфере, температурой и содержанием углерода в аустенитном растворе стали. Откуда следует выражение для активности углерода:

$$\lg a_{\text{C}} = \lg[(P_{\text{CO}})^2 / P_{\text{CO}_2}] + 8817/T - 9,071$$

Для определения величины углеродного потенциала по содержанию кислорода в науглероживающей атмосфере печи основной реакцией является:



Выражение для активности углерода имеет вид:

$$\lg a_{\text{C}} = \lg [P_{\text{CO}} / (P_{\text{O}_2})^{0,5}] + 5927/T - 4,545$$

Из приведенных соотношений следует, что для определения содержания углерода в контролируемой атмосфере необходимо измерять, в первом случае, концентрации оксида, диоксида углерода и температуру газа, а во втором случае, концентрации оксида углерода, кислорода и температуру печной атмосферы. Для определения концентраций оксида и диоксида углерода в печной атмосфере современные средства газового анализа представляют широкий выбор так называемых NDIR-сенсоров, представляющие из себя компактные инфракрасные газоаналитические модули. Модули выпускаются в том числе и для измерения концентраций оксида, диоксида и метана в одной кювете, снабжены интерфейсом RS-232 для связи с периферийными устройствами, обладают высокими метрологическими характеристиками, достаточно компактны и легко встраиваются в систему автоматического контроля и управления.

Возможность осуществления метода определения углеродного потенциала по содержанию оксида углерода появилась относительно недавно. Это связано с тем, что концентрация кислорода в управляемых атмосферах чрезвычайно мала и составляет 10^{-17} - 10^{-20} об.%. Измерение таких величин концентраций кислорода стало возможным только с появлением твердоэлектродного датчика кислорода, конструкция которого представлена на рисунке. Датчик представляет собой ионообменный материал в виде мембраны, тонкой фольги, таблетки или цилиндра из диоксида циркония. Внешняя сторона датчика сообщается с печной атмосферой, а внутренняя – с контрольной газовой средой с известным содержанием кислорода. Обычно для этого используется атмосферный воздух. Для контроля температуры датчика к его внутренней поверхности подведена термopара. Полезный сигнал снимается с помощью платиновых электродов, нанесенных на внутреннюю и внешнюю поверхности датчика. Зависимость величины электрического потенциала датчика от величины парциальных давлений кислорода в печи P_{O_2} и в контрольной атмосфере $P^*_{\text{O}_2}$ при температуре датчика T определяется формулой Нернста:

$$E = 0,0496 \lg (P_{\text{O}_2} / P^*_{\text{O}_2}) T$$

В отличие от метода определения углерод-

ного потенциала по диоксиду и оксиду углерода, где печной газ необходимо отбирать и транспортировать к газоанализатору, кислородный датчик вводится в печной объем и может быть расположен в непосредственной близости от наблюдаемого объекта термообработки, что дает возможность получать информацию об уровне углеродного потенциала практически у поверхности обрабатываемых деталей. К недостаткам датчика можно отнести его чувствительность к перепадам температур на его поверхности, вертикальное рабочее положение и сравнительно короткий срок жизни, не превышающий двух-трех лет, при стоимости порядка двух тысяч евро. Одна из наиболее известных проблем внешнего электрода датчика, это когда процессом управляют близко к пределу выпадения сажи, что приводит к загрязнению внешнего электрода. Сажа на внешнем электроде вызывает дефектные измерения. В этом случае единственная помощь – периодическая чистка зонда воздухом. Последствия чистки – увеличенное время реакции зонда и сравнительно длительное время восстановления зонда до рабочего состояния. При температурах выше 1100°C в цирконии возникает электронная проводимость, ростом которой нельзя пренебрегать [2], [3]. Управление процессами при высоких температурах возможно при условии компенсации эффекта электронной проводимости. Для того, чтобы избавиться от определения концентрации оксида углерода, которая фигурирует в формуле для расчета углеродного потенциала, концентрация CO определяется с помощью таблицы отображающей зависимость углеродного потенциала от содержания CO_2 , CO и температуры в печи. Таблицы, как правило, прилагаются к эксплуатационной документации. Это обстоятельство объясняется тем, что используемый природный газ стабилен по своему химическому составу благодаря чему применение его обеспечивает относительно стабильную и приблизительно известную величину CO в эндогазе и печной атмосфере. Безусловно это вносит дополнительную погрешность в измерения. Кроме этого, средств поверки кислородных датчиков в области вышеприведенных концентраций кислорода не существует. Поэтому применяется метод косвенного измерения концентрации кислорода по теоретической зависимости величины ЭДС датчика от концентрации кислорода и его температуры. Таким образом, погрешность измерения концентрации кислорода датчиком зависит от точности измерения ЭДС, от точности измерения температуры, от величины отклонения введенной по умолчанию величины концентрации оксида углерода от реальной, надежности контакта электродов на датчике с его поверхностью, степени загрязнения его сажей, структуры и чистоты материала датчика – диоксида цирко-

ния и т.д. К источнику ошибок измерения датчика можно отнести околоэлектродное изменение состава газа, связанное с концентрационной и электродиффузией кислорода через оксид циркония, поляризация электродов, старение и нестабильность свойств окислов и износ платины, которая используется в датчике для снятия сигнала. Еще один момент применения систем контроля углеродного потенциала с кислородными датчиками погружного типа, который можно рассматривать, как его серьезный недостаток – это невозможность применять многоточечные системы, в которых один газоанализатор имеет возможность обслуживать несколько объектов регулирования путем простого переключения в системе отбора газовых проб. В реальных условиях это позволяет в разы сократить себестоимость систем автоматического управления. Однако возможность измерять характеристики контролируемых атмосфер непосредственно у поверхности обрабатываемых деталей, практическая безинерционность и простота монтажа на объекте управления – все эти качества датчика кислорода обеспечили ему широкое распространение в системах измерения. Опи-

санные выше методы измерения углеродного потенциала были успешно использованы при создании систем автоматического контроля и управления процессами химико-термической обработки металлов в целях модернизации существующего термического оборудования на машиностроительных предприятиях Республики.

1. Neumann, F. Thermodynamische Grundlagen zur Prozesskontrolle beim Aufkohlen in Gasen / F. Neumann, U. Wyss // HTM: Harterei-Technische Mitteilungen. – 1994. – Bd. 49. – № 3. – P. 207-214
2. AWT-Fachausschuss 5 Arbeitskreis 4 (Hrsg.): Die Prozessregelung beim Gasaukochen und Einsatzdarten// Expert Verlag, Renningen – 1997.
3. Schmalzried, H.: Über Zirkonoxid als Elektrolyt für elektrochemische Untersuchungen bei hohen Temperaturen // Z. Elektrochem. Ber. Bunsenges. Physik. Chemie. – 1962. – Bd. 66. – № 7. – P. 572.

УДК: 535.32:551.508

ГРАДИЕНТНО-ОПТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПОВЫШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Шаронов Г.В.

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко
Минск, Республика Беларусь*

Проведен анализ проблем и определены способы повышения эксплуатационной и метрологической надежности методов и средств оптической диагностики газовых и аэродисперсных потоков на основе предложенного градиентно-оптического принципа. Различные области науки (физика, химия, биология), техники (ракетная, космическая, лазерная), промышленности (химическая, газо- и нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая), хозяйственной деятельности (охрана окружающей среды, производство и хранение продовольственной продукции) так или иначе связаны с анализом газовых и аэрозольных сред. Чрезвычайно широкий круг требований к методам анализа этих сред и реализующим их устройствам определяется многообразием газоаналитических задач, конкретное решение которых и обуславливает необходимость совершенствования традиционных и разработку новых способов и аппаратуры.

Автоматизация процессов различных производств и технических средств требует быстродействующего автоматического анализа параметров сложных многокомпонентных и мно-

гофазных газовых и аэродисперсных потоков (агрессивных, токсичных, быстродиссоциирующих, взрывоопасных, высокотемпературных, влажосодержащих, дымовых, пылевых) в широких диапазонах изменения их скоростных и термодинамических режимов. Непрерывная диагностика этих сред позволяет следить (и в определенной мере управлять) как за ходом технологических процессов, так и за качеством получаемой продукции.

В целом ряде производств химической, нефтяной, нефтехимической, горнодобывающей, газовой, энергетической и других отраслей промышленности контроль за составом газообразных сред осуществляется с помощью автоматических анализаторов. Они служат для определения и предупреждения образования взрывоопасных концентраций смесей, а также вредных для человека количеств токсичных и ядовитых веществ. Анализаторы приобрели актуальность при контроле предельно допустимых выбросов отходящих газов производств, выхлопных газов транспортных средств, а также для контроля предельно допустимых концентраций загрязни-