

УДК 621.785.51.06

Оценка электропроводности порошковых углеродных карбюризаторов

Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов, Г. И. Бровер

(Донской государственный технический университет)

Рассмотрена возможность проведения процесса цементации металлических изделий в углеродсодержащих порошковых средах при пропускании электрического тока через порошковую среду и изделие. Показано влияние дисперсности порошка кокса на электрическое сопротивление порошковой насыщающей среды.

Ключевые слова: цементация металлических изделий, порошковая среда для диффузионного насыщения.

Введение. Одним из наиболее перспективных направлений развития современных процессов химико-термической обработки (ХТО) металлических изделий является диффузионное насыщение в токопроводящих порошковых средах [1]. При изучении данного процесса важна оценка электрических свойств применяемых порошковых материалов, определяющих протекание процессов нагрева, воспламенения, а также диффузионного насыщения, при прохождении электрического тока.

Постановка задачи исследования. Наиболее распространённым в производственной практике процессом ХТО является цементация. В этой связи авторами была поставлена задача оценки электрических свойств углеродных порошковых материалов, которые могут быть использованы для проведения процесса цементации.

Результаты анализа и их обсуждение. При проведении цементации в твёрдых средах в качестве порошковых карбюризаторов используются различные углеродсодержащие материалы, чаще всего древесный уголь (дубовый или берёзовый) с добавками активаторов: углекислого бария, углекислого натрия, ацетата натрия. Технологически наиболее распространено насыщение в герметизируемых контейнерах с использованием печного нагрева [2, 3]. В результате взаимодействия карбюризатора с кислородом воздуха, находящегося в контейнере, образуется оксид углерода CO (а не диоксид CO₂ из-за недостатка кислорода), который при температуре цементации неустойчив и распадается на атомарный углерод и CO₂.

Атомарный углерод диффундирует в насыщаемый металл, а диоксид углерода взаимодействует с карбюризатором с образованием оксида, обеспечивая таким образом непрерывность процесса науглероживания.

Установлено, что если насыщение производится из активной газовой среды, то непосредственный контакт карбюризатора с деталью не обязателен и диффузионный слой образуется и на тех деталях, которые не контактируют с карбюризатором.

Чаще всего электрические свойства порошковых углеродных материалов рассматриваются в литературе, посвящённой изготовлению углеродных порошковых изделий, например электродов. Установлено [4], что при увеличении температуры материала до 700 °С вследствие изменения степени упорядоченности структуры наблюдается значительное возрастание его электропроводности, а при дальнейшем нагреве она изменяется в меньшей степени.

Следует отметить, что электрическое сопротивление отдельных частиц углеродных материалов зависит только от их химического состава и структуры, в то время как сопротивление порошковой среды зависит также от межзёрненного сопротивления. Кроме того, для углеродных порошковых материалов характерно сопротивление, связанное с длиной токоведущего пути внутри самой порошковой среды. В любой точке существует множество эквивалентных путей движения тока, и электрическое сопротивление зависит от положения данной точки в порошковой среде, параметров уплотнения порошка и электрического сопротивления самого порошкового материала.

ла. Значительный вклад в суммарное сопротивление порошковых углеродных материалов вносит контактное сопротивление частиц порошка [4, 5]. В общем случае контактное сопротивление определяется точечным характером соприкосновения частиц (рис. 1) и не зависит от их формы.

При точечном контакте двух частиц линии тока, идущие вначале параллельно, начинают стягиваться при приближении к точке контакта. Эффективное сечение уменьшается, и сопротивление увеличивается. Это сопротивление представляет собой сопротивление стягивания.

Реально в точке соприкосновения контакт осуществляется через маленькую плоскую площадку. Установлено [5], что при поперечном размере площадки $\sqrt{S}$, где S — площадь поверхности площадки, сопротивление стягивания равно:

$$R_{ст} = \frac{\rho\sqrt{\pi}}{4\sqrt{S}}, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление материала контактирующих элементов.

При перетекании через поверхность S в другой элемент электрический ток начинает растекаться от точки контакта. Это сопротивление представляет собой сопротивление растеканию и имеет то же значение, что и сопротивление стягиванию:

$$R_{раст} = R_{ст}. \quad (2)$$

Эти два сопротивления складываются последовательно, и, таким образом, сопротивление контакта с площадью соприкосновения S при одинаковых материалах контактирующих элементов равно:

$$R_{сум} = 0,886 \rho / \sqrt{S}. \quad (3)$$

Таким образом, очевидно, что величина частиц порошка является важнейшим фактором, определяющим суммарное сопротивление всей порошковой среды.

Если рассматривать контактное сопротивление токопроводящих порошков, подвергнутых прессованию, то следует учитывать, что их контактное сопротивление зависит не только от морфологии самих углеродных частиц (размера, формы), но и от давления их прессования [4]. Прикладываемое давление прессования способствует улучшению контакта между частицами и уменьшает длину пути электрического тока через порошковую массу. Обычно измеряемое сопротивление спрессованного порошка с ростом давления приближается к сопротивлению компактного материала. Такой эффект от давления прессования наиболее заметен для мелкодисперсных углеродных порошков.

Существенное влияние на электрическое сопротивление порошковых углеродных материалов оказывает наличие на частицах порошка поверхностного кислорода [4]. Это связано с тем, что кислородсодержащие функциональные группы, образующиеся на их поверхности, повышают энергетический барьер, который нужно преодолеть электронам при переходе от одной частицы к другой. Поэтому повышение электрического сопротивления может быть вызвано либо увеличением содержания таких поверхностных групп, например с помощью выдержки углеродного порошка в кислородсодержащей атмосфере, либо ростом числа межчастичных контактов в связи с измельчением частиц. Обратный процесс удаления таких кислородсодержащих групп путём нагрева ма-



Рис. 1. Точечный контакт углеродных частиц

териала в инертной атмосфере при температуре около 1000 °С способствует снижению сопротивления углеродных порошков.

Важным фактором в формировании суммарного сопротивления является контакт углеродной порошковой среды и металлического электрода. Порошковый материал контактирует с металлическим электродом только в тех точках, где к электроду прилегают частицы порошка. В этом случае электрическое сопротивление зависит от площади контакта, а также электрических свойств порошка и металлического электрода. Указанное электросопротивление определяет динамику электронагрева при ХТО в порошковой среде, когда роль электрода выполняет обрабатываемая деталь.

Рассмотрим возможность осуществления процесса цементации в порошковой токопроводящей насыщающей среде. Наиболее распространёнными углеродсодержащими материалами являются: графит, древесный уголь, каменный уголь, кокс. Для исследования предпочтение было отдано каменноугольному коксу, учитывая наличие высокой теплотворной способности и малого газовыделения при горении этого углеродного материала.

Кокс представляет собой твёрдый пористый продукт серого цвета, получаемый коксованием каменного угля [6]. Содержит 96—98 % углерода, имеет пористость 49—53 %. Физико-химические свойства кокса определяются его структурой, приближающейся к гексагональной слоистой структуре графита. Структура кокса характеризуется неполной упорядоченностью: отдельные фрагменты (слои), связанные вандерваальсовыми силами, статистически занимают несколько возможных положений (например, накладываются один на другой). Наряду с атомами углерода в пространственной решётке кокса, особенно в её периферийной части, могут располагаться гетероатомы (S, N, O). Строение и свойства кокса зависят от состава угольной шихты, конечной температуры и скорости нагрева коксуемой массы.

При изучении свойств кокса как твёрдого горючего углеродного материала различают три группы параметров: механические (плотность, кажущаяся плотность, действительная плотность и др.), тепловые (удельная теплоёмкость, коэффициенты тепло- и температуропроводности, теплоту сгорания, плавления, сублимации и испарения), а также электрические (удельная электрическая проводимость).

Электрические свойства кокса изучались многими исследователями. Это объясняется тем обстоятельством, что электрическое сопротивление кокса зависит от температуры нагрева, и, следовательно, от глубины структурных изменений его органических соединений. Отсюда вытекает возможность использования величины удельного электрического сопротивления кокса для характеристики степени его готовности [6] в коксовых колоннах. Например, в работе [7] отмечали, что зависимость удельного электрического сопротивления коксовой среды от размера кусков кокса имеет гиперболический характер. Кроме того, установлено, что при повышении электрического напряжения до 50—60 В переходные сопротивления (контакты между кусками кокса, рис. 1) начинают искрить и возникает явление массового появления микроэлектродуг. Результаты таких исследований иногда используются для получения информации о свойствах шихтовых материалов и контроля качества металлургических процессов, протекающих в доменных печах.

В то же время следует отметить, что средний размер кусков кокса, применяющихся в металлургическом производстве и считающихся оптимальными, составляет 25 мм, а размеры 10 мм и менее считаются отходами. Очевидно, что имеющиеся результаты исследований неприменимы для оценки свойств порошкового кокса, который может использоваться для проведения процесса науглероживания.

Учитывая это обстоятельство, нами было предпринято экспериментальное исследование зависимости удельного электрического сопротивления порошка кокса от размера его частиц.

Предельный размер частиц был выбран исходя из целесообразности его использования при проведении процесса диффузионного науглероживания.

Для проведения эксперимента использовался каменноугольный кокс, размолотый и рассеянный на фракции 0,1 мм; 0,16 мм; 0,2 мм; 0,315 мм; 0,4 мм; 0,5 мм; 0,63 мм. Далее порошок кокса различных фракций засыпался в канавки шириной 5 мм и длиной 100 мм, вырезанные в листе электротехнического текстолита марки А по ГОСТ 2910-74. Глубина канавок составляла от 1,25 мм до 6,5 мм. Контактные электроды представляли собой отрезки медной проволоки длиной 30 мм и диаметром 3 мм, закреплённые в отверстиях, просверлённых по краям канавок. Расстояние между центрами электродов составляло 95 мм. После засыпания порошка кокса измерялось электрическое сопротивление между электродами с использованием цифрового мультиметра АР-РА-305. Определение удельного электрического сопротивления производилось с использованием известной зависимости:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

где R — электрическое сопротивление; ρ — удельное электрическое сопротивление; l — длина проводника; S — поперечное сечение.

Полученные результаты представлены на графике (рис. 2).

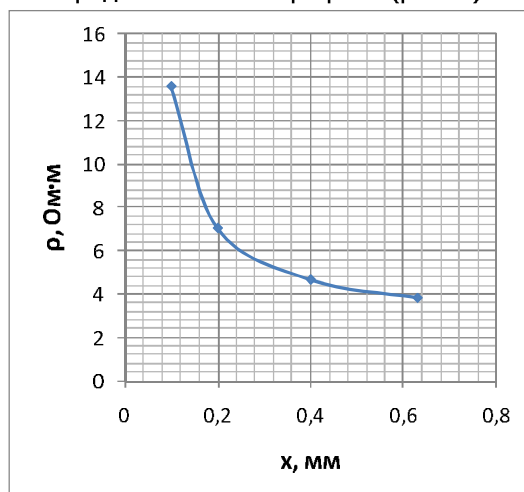


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления ρ порошка кокса от размера x его частиц

Выводы. 1. Экспериментально получена зависимость удельного электрического сопротивления порошкообразного кокса от размера частиц порошка.

2. Наблюдаемое резкое возрастание электрического сопротивления кокса при размерах частиц менее 0,4 мм находит объяснение в существенном вкладе межчастичного переходного сопротивления в связи с измельчением частиц порошка и, соответственно, увеличением числа контактов.

3. Полученная зависимость электрического сопротивления кокса от размера частиц его порошка может быть использована при выборе источника питания для порошковой цементации с пропусканием электрического тока в цепи: источник — токопроводящий контейнер — порошок кокса — цементуемое изделие.

Библиографический список

1. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Смёткин. — Москва: Новое знание, 2010. — 304 с.
2. Борисёнок, Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Г. В. Борисёнок, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошнин. — Москва: Металлургия, 1981. — 424 с.

3. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. — Москва: Metallurgiya, 1985. — 256 с.
4. Шорникова, О. Н. Связующие для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / О. Н. Шорникова, Н. В. Максимова, В. В. Авдеев. — Москва: МГУ, 2010. — 52 с.
5. Горюнов, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / В. А. Горюнов, С. М. Коробейников, С. В. Нестеров. — Новосибирск: НГТУ, 2009. — 96 с.
6. Глущенко, И. М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых: учебник для вузов / И. М. Глущенко. — Москва: Metallurgiya, 1990. — 296 с.
7. Патент РФ № 2396498. Устройство для высокотемпературной обработки углеродистых материалов (электрокальцинатор) / Ю. Ф. Фролов, В. А. Лебедев. Кл. 6 F27B 1/09. Опубл. 2010.08.10.
8. Михин, Р. В. Разработка теоретических основ поведения шихтовых материалов доменной плавки для информационного обеспечения математической модели загрузки доменной печи: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р. В. Михин. — Москва: МИСиС, 2010. — 16 с.

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

References

1. Voroshnin, L. G. Teoriya i texnologiya ximiko-termicheskoy obrabotki / L. G. Voroshnin, O. L. Mendeleva, V. A. Smyotkin. — Moskva: Novoe znanie, 2010. — 304 s. — In Russian.
2. Borisyonok, G. V. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov / G. V. Borisyonok, L. A. Vasil'ev, L. G. Voroshnin. — Moskva: Metallurgiya, 1981. — 424 s. — In Russian.
3. Laxtin, Yu. M. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu. M. Laxtin, B. N. Arzamasov. — Moskva: Metallurgiya, 1985. — 256 s. — In Russian.
4. Shornikova, O. N. Svyazuyushhie dlya polimerny`x kompozicionny`x materialov: ucheb. posobie / O. N. Shornikova, N. V. Maksimova, V. V. Avdeev. — Moskva: MGU, 2010. — 52 s. — In Russian.
5. Goryunov, V. A. Materialovedenie. Texnologiya konstrukcionny`x materialov: ucheb. posobie / V. A. Goryunov, S. M. Korobejnikov, S. V. Nesterov. — Novosibirsk: NGTU, 2009. — 96 s. — In Russian.
6. Glushhenko, I. M. Teoreticheskie osnovy` texnologii goryuchix iskopaemy`x: uchebnik dlya vuzov / I. M. Glushhenko. — Moskva: Metallurgiya, 1990. — 296 s. — In Russian.
7. Patent RF # 2396498. Ustrojstvo dlya vy`sokotemperaturnoj obrabotki uglerodisty`x materialov (e`lektrokal`cinator) / Yu. F. Frolov, V. A. Lebedev. Kl. 6 F27B 1/09. Opubl. 2010.08.10. — In Russian.
8. Mixin, R. V. Razrabotka teoreticheskix osnov povedeniya shixtovy`x materialov domennoj plavki dlya informacionnogo obespecheniya matematicheskoy modeli zagruzki domennoj pechi: avtoref. dis. ... kand. texn. nauk / R. V. Mixin. — Moskva: MISiS, 2010. — 16 s. — In Russian.

EVALUATION OF ELECTRIC CONDUCTIVITY OF CARBON POWDER CARBURIZERS

Y. M. Dombrovskiy, M. S. Stepanov, G. I. Brover

(Don State Technical University)

The probability of metal ware carburizing in the carbon-wearing powdered media under passing current through the powdered environment and the workpiece is considered. The effect of the powered coke dispersibility on the electrical resistance of the powder saturating medium is shown.

Keywords: metal ware carburizing, powdered environment for diffusion.