

Определенный интерес представляет выявление корреляционной связи между исследуемыми параметрами. Для этого определяли коэффициент парной корреляции r_{ij} по формуле

$$r_{ij} = \frac{\sum \Delta y_i \Delta y_j}{\sqrt{\sum \Delta y_i^2 \sum \Delta y_j^2}}, \quad (2)$$

где Δy_i , Δy_j – разность между текущим (i -м) и средним значением i -го (или j -го) параметра.

В результате были получены следующие значения этих коэффициентов: $r_{1,2} = 0,544$, $r_{1,3} = 0,94$ и $r_{2,3} = 0,797$ при табличном (критическом) значении $r_{кр} = 0,8114$ (для $\alpha = 0,05$ и $f_1 = 4$).

Таким образом, линейная корреляция существует между количеством связанного карбида кремния (y_1) и пористостью (y_3) и близка к линейной корреляции между электрическим сопротивлением (y_2) и пористостью (y_3).

Связь между y_1 и y_3 можно выразить в виде линейного корреляционного уравнения

$$y_3 = 1,19y_1 - 61,58.$$

Следовательно, зная значение пористости (y_3), можно определить долю связанного карбида кремния, и наоборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неметаллические тугоплавкие соединения / Г.Я. Косолапова, Т.В. Андреева, Т.С. Бартицкая и др. М.: Металлургия, 1985. 224 с.
2. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 264 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

УДК 669.3

Е.С. ГОЛУБЦОВА, канд. техн. наук (БНТУ)

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ КЕРАМИКИ

Современное развитие многих отраслей промышленности базируется на последних достижениях экономики, требованиях безопасности и рациональности в производстве, а также экологичности. Эта тенденция распространяется как на производственные условия, процессы и оборудование, так и на применяемые и создаваемые материалы.

Разработка и внедрение новых конструкционных материалов является одной из наиболее характерных тенденций развития современной техники. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, прово-

димые ведущими фирмами, научными организациями, лабораториями в странах СНГ и в дальнем зарубежье, нацелены на внедрение перспективных конструкционных материалов в автомобилестроение, двигателестроение, судостроение, авиационную, электронную, медицинскую и другие отрасли промышленности.

Использование керамических материалов становится необходимостью, если традиционно используемые материалы (металлы и пластмассы) не отвечают возрастающим запросам техники в части создания многофункциональных элементов, заменяющих металлические. Это обуславливает разработку стойких к воздействию агрессивных химических, эрозионных и абразивных сред керамических деталей, узлов машин и механизмов, работающих при длительных вибрационных нагрузках; производство режущего и абразивного керамического инструмента на металлической или полимерной основе; производство элементов конструкций, работающих при высоких (1000 К и более) температурах.

ENCERAM опубликовала сведения о выпуске в настоящее время (в перспективе до 2005 г.) некоторых видов технической керамики в США и странах Европы. Отмечено, что потребление технической керамики в 2005 г. в Европе и США увеличится соответственно на 3,4 и 6,9%. Наиболее высокие скорости прироста ожидаются в производстве катализаторов в США, биокерамики в Европе, а также керамики для изготовления подшипников, резцов и фильтров. Германия произвела в 1998 г. примерно 37% выпущенной в Европе технической керамики. Рынки Франции и Англии вместе составляют около 27% европейского рынка.

На ежегодно проводимой промышленной выставке-ярмарке «Hannover Messe» (г. Ганновер, Германия) демонстрируются последние достижения в разработке керамических материалов.

Фирмой CeramTec были представлены конструкционные элементы для насосов различного назначения, выполненные из керамических материалов. Клапаны в виде керамических пластин Si_3N_4 в топливном насосе высокого давления работают при циклических давлениях до 1,5 бар. Благодаря высокой износостойкости и прочности подобные керамические клапаны способны уменьшить инерционную массу движущихся частей в системе контроля выхлопных газов. Скорость потока выхлопного газа, особенно в стадии прогревания, контролируется клапанами, выполненными из оксида циркония. Рабочая температура вблизи таких клапанов достигает 500 °С и является достаточной для повреждения либо разрушения традиционно применяемого материала (металла). Благодаря термостойкости и высокой прочности ZrO_2 обеспечивается жизнеспособность узла подшипника клапана.

Еще один пример использования керамических материалов, разработанных фирмой CeramTec, – применение их в электрических топливных и водяных насосах. В этом случае металлическая либо пластмассовая сторона пластинки, подвергаемая высоким нагрузкам, была заменена на керамическую. Такая замена способствует значительному увеличению срока службы изделия в целом и снижению шума при эксплуатации.

Фирма CFI GmbH & Co KG (г. Роденталь, Германия) представила на Ганноверской ярмарке сварочные приспособления из керамики на основе Si_3N_4 , полученные горячим изостатическим прессованием (прочность 900 МПа), литьем под давлением (прочность 800 МПа), сухим прессованием (прочность 850 МПа). Преимущества керамических сварочных электродов для точечной сварки по сравнению с аналогичными, выполненными из традиционно используемых материалов (БрНБТ, БрМц5Б, БрКг1, БрХКг1, БрХЦр, БрНК 0,5–0,5, Эксенайт ВМ, дисперсноупрочненные медные сплавы ($\text{Cu}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}+\text{BeO}$), БрСр, МЦ 2, МЦ 4, МЦ 5,5), указаны в табл. 1.

Таблица 1

Анализ свойств керамических материалов на основе Si_3N_4 , применяемых для изготовления различных сварочных приспособлений

Свойства керамических материалов, разработанных CFI GmbH & Co KG	Преимущества данных материалов по сравнению с традиционно применяемыми
Электроизоляция Незначительная теплопроводность	Не требуется дополнительной изоляции Отсутствие перегрева сварочной аппаратуры
Высокая твердость Высокая износостойкость Высокая прочность Отсутствие прилипания при разбрызгивании Высокая термостойкость	Отсутствие риска на поверхности Длительный срок службы Стойкость к разрушению Надежность функционирования Использование вблизи области воспламенения
Высокое сопротивление термоудару	Возможность охлаждения в процессе работы

Керамические шарики на основе нитрида кремния, изготовленные фирмой CFI GmbH & Co KG, имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогичными, изготавливаемыми из подшипниковой стали:

Изменение свойства

Получаемые преимущества

На 60 % снижена плотность

На 50 % выше модуль упругости

На 70 % снижено тепловое расширение

Высокая коррозионная и термостойкость

Высокая прочность и износостойкость

Электроизоляционные и немагнитные свойства

Малая центробежная сила

Большая жесткость опоры, уменьшение трения в подшипнике

Высокая точность опоры, незначительное повышение напряжения смещения подшипника

Различные области применения

Длительный срок службы

Специальные области применения

Благодаря вышеуказанным свойствам керамические шарики используются для изготовления высокоточных подшипников, подшипников, работающих в коррозионных средах и при высоких температурных нагрузках, электроизолируемых и немагнитных подшипников и т. д.

Нитрид кремния обладает высоким сопротивлением к разъедающему воздействию расплавленных цветных металлов. Он стоек в расплавленном алюминии при 1000 °С в течение более 3000 ч. В связи с этим Si_3N_4 используется в качестве футеровочного материала для защитных трубок, в кото-

рые вставляются термопары, регистрирующие состояние расплава алюминия, а также в качестве огнеупоров, которыми футеруются отверстия для выпуска жидкого металла, теплонапряженные детали, горелки различных видов. Шлакоустойчивость и химическая стойкость Si_3N_4 в электролитической ванне сильнее, чем у SiC. Нитрид кремния также стоек к жидкой стали и литейному чугуну, поэтому небольшие количества его часто добавляют в материалы, идущие на футеровку желоба для выпуска чугуна из доменной печи.

Материалы с торговой маркой Deranox®, Sintox®, Vitox® на основе оксида алюминия, а также Zuranox® на основе оксида циркония идут на изготовление баллистических пластин целевых устройств, насадок для дуговой сварки вольфрамовым (неплавящимся) электродом в среде инертного газа, насадок пескоструйных аппаратов, компонентов высокопроизводительных твердотельных лазеров и CO_2 -лазеров, пластин противопожарной защиты различных двигателей (завод «Rugby», Англия).

Высокотехнологичные оксидные керамические материалы на основе ZrO_2 , обладающие уникальным сочетанием высоких значений прочности и вязкости, стойкостью к воздействию агрессивных химических сред, низкой теплопроводностью, особыми электрофизическими свойствами, разработаны сотрудниками Института проблем материаловедения НАН Украины. Они идут на изготовление мишеней для электронно-лучевого напыления теплозащитных покрытий, режущей керамики различного назначения, тиглей и оболочковых форм с защитным слоем для плавки тугоплавких, химически активных металлов и сплавов (температура до 2000 °C), фильтр для распыления абразивных, сыпучих и жидких материалов, волок для протяжки алюминиевой и медной проволоки.

Высокая металлоустойчивость, коррозионная и эрозионная стойкость к расплаву жидкой стали обуславливает использование керамики из диоксида циркония в металлургической промышленности.

В ОАО «Украинский НИИ огнеупоров им. А.С. Бережного» по результатам выполненного комплекса исследований разработана технология производства термостойкой керамики из ZrO_2 в виде: подставок для нагрева тугоплавких сплавов до 2000...2300 °C перед деформированием и секторов для теплоизоляции футеровки индукционных печей, выдерживающих более 500 теплосмен (футеровка индукционных печей с такими секторами во ВНИИТИ прослужила более 10 лет); стаканов-дозаторов для разливки стали на МНЛЗ, которые по своим свойствам не уступают импортным и обеспечивают длительный срок службы при разливке металла с постоянной скоростью в случае разлива серий плавков методом «плавка на плавку».

Низкий температурный коэффициент линейного расширения, высокие значения термо- и химической стойкости, сопротивление термоударам обусловили значительный интерес к кордиеритовой керамике. Она применяется в качестве носителя катализаторов для очистки выхлопных трактов двигателей внутреннего сгорания, деталей промышленных фенов,

теплообменников, фильтров для очистки газов, воды, расплавленных металлов и т. д.

В ОАО «Новосибирский электровакуумный завод» получена кордиеритовая керамика с пределом прочности при изгибе 100 МПа (температура обжига 1310 °С), температурным коэффициентом линейного расширения $2,1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (диапазон температур 20...600 °С). Изделия, предназначенные для работы в условиях резких многократных изменений температуры и действия агрессивных сред, могут изготавливаться пластическим деформированием, литьем под давлением, центробежным горячим литьем, прессованием.

Интересной представляется разработка пенокерамики на основе системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ с прочностью при изгибе 1...2 МПа, рабочей температурой 1400 °С. Основное применение пенокерамики системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ – фильтры для очистки жидкого чугуна и алюминия. Структура пенокерамики в этом случае представляет собой конгломерат тугоплавких частиц, связанных стеклофазой. Для повышения жаропрочности пенокерамики используют тугоплавкие оксиды $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$. Была получена пенокерамика состава $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$ (20...40% ZrO_2) с пористостью 80...90%, прочностью $\sigma_{\text{изг}} = 3...5$ МПа и жаропрочностью 1600 °С. Керамика системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$ может быть использована для фильтрации высоколегированных сталей и сплавов с температурой разлива 1550...1600 °С.

Бурный рост и значительные успехи фундаментальных исследований в области керамики очевидны. Это открывает перспективы резкого увеличения опытно-конструкторских и фундаментальных работ в области производства и изучения керамики.