

Выводы

1. На основе проведенного анализа состояния вопроса разработана и экспериментально верифицирована эффективная универсальная методика численного моделирования температур, напряжений и деформаций в различных участках свариваемых пластин, учитывающая специфику поведения аустенитной стали типа 18/8 и особенности низкотемпературного охладителя, обеспечивающая погрешность прогнозирования 2-7% для величины продольного изгиба и 21-29% для величины угловых деформаций. С помощью разработанной методики рассчитаны температурные поля, поля напряжений, деформаций и перемещений, установлены величины временных и остаточных перемещений при сварке тонколистовых пластин из аустенитных сталей.

2. Предложена схема управления временными и остаточными деформациями с помощью принудительного локального охлаждения диоксидом углерода участков перегрева при ручной и автоматической аргодуговой сварке аустенитной стали для толщины листа 1 мм. Раскрыт механизм воздействия охлаждения на процесс сварки и показано, что вследствие увеличения температурного градиента на фронте кристаллизации при дополнительном охлаждении зоны сварки характер кристаллизации изменяется и имеет место переход от грубозернистой дендритной кристаллизации при сварке без охлаждения к мелкозернистой ячеистой форме при сварке с охлаждением. Дополнительное охлаждение сокращает ширину шва, ширину участка роста зерна, участков рекристаллизации и возврата, уменьшает время пребывания металла при соответствующих температурах до значений препятствующих завершению соответствующих процессов.

3. Для реализации результатов работы спроектировано, изготовлено и апробировано простое и удобное устройство подачи твердого сухого льда в зону сварки, обеспечивающее охлаждение зоны шва с найденными оптимальными параметрами. Результаты работы внедрены в учебный процесс в БНТУ, в производство на ОАО "Нефтезаводмонтаж" (Республика Беларусь) и на предприятии "АМА" (Иран).

Список литературы

1. Махненко, В. И. Изыскание расчётных методов исследований кинетики сварочных напряжений (деформаций). / В. И. Махненко – Автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. Ин-т электросварки им. Е.О. Патона АН УССР, 1971 г.
2. Афшин Хейдари Монфаред. Снижение деформаций при аргодуговой сварке неплавящимся электродом тонколистовой аустенитной стали принудительным охлаждением высокотемпературной области: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Афшин Хейдари Монфаред. – Минск.: БНТУ, 2012. – 23с.

СИНТЕЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНЕЗЁМА В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Гребеньков А.Ж., Михайлов А.А.

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, Минск, Беларусь

dsl@hmti.ac.by

Карбид кремния SiC обладает целым набором уникальных физико-химических свойств, которые делают его перспективным материалом при реализации современных конструктивно-технологических решений в самых различных областях техники.

Известная технология промышленного производства карбида кремния карботермическим восстановлением кремнезёма нефтяным коксом по методу Ачесона

характеризуется как малоэффективный периодический процесс с высоким энергопотреблением и значительными вредными выбросами в окружающую среду, неконтролируемым структуро- и формообразованием получаемого SiC [1-4].

Современным потребителям SiC все чаще требуются мелкозернистые порошки с высокой степенью чистоты. Кроме того, важным фактором производства в настоящее время становятся энергосбережение, экологическая чистота, автоматизация.

Суммарную эндотермическую реакцию карботермического восстановления SiO₂ можно представить в виде:



однако она не отражает сложного механизма образования карбида кремния, который включает ряд последовательных стадий и параллельных реакций. Основным участником карботермического восстановления SiO₂ считается летучий монооксид кремния SiO, образующийся при испарении и диссоциации кремнезёма и взаимодействующий с углеродным восстановителем.

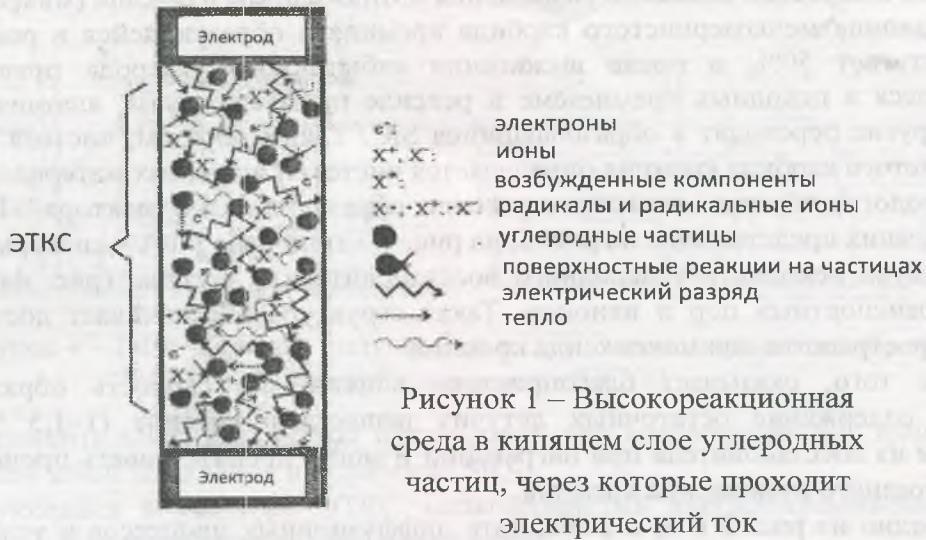
Существенную роль в карботермическом восстановлении кремнезёма играет в первую очередь дисперсность материала, его морфология и пористость. Свойства получаемого SiC зависят в большей степени не только от соотношения исходных компонентов и условий их термической обработки, но и от структуры и дисперсности исходных углерода и кремнезёма.

В связи с этим представляет интерес использовать в производстве карбида кремния технологию кипящего слоя, которая находит широкое применение во многих технологических процессах при осуществлении гетерогенных взаимодействий с твердой фазой. Это обусловлено известными достоинствами кипящего слоя зернистого материала, к которым прежде всего относится высокая интенсивность тепло- и массопереноса, позволяющая практически выравнивать температуры и концентрации в объеме слоя, тонко регулировать режимы, повысить производительность. Подвижность кипящего слоя дает возможность создать аппараты с непрерывным вводом исходной и отводом отработанной твердой фазы, автоматизировать технологический процесс.

Среди известных методов подвода тепла к кипящему слою для достижения в нем высоких температур наиболее перспективен нагрев мелкозернистого электропроводного материала непосредственным пропусканием электрического тока. Создаваемый электротермический кипящий слой (ЭТКС) удачно сочетает преимущества, свойственные кипящим слоям в целом, с простотой и эффективностью прямого преобразования электрической энергии в тепловую [5].

Разработана технология синтеза мелкозернистого карбида кремния в ЭТКС, которая прошла апробацию на созданной автоматизированной экспериментальной установке [6].

Особенностью реактора ЭТКС является создание высокорреакционной среды в кипящем слое углеродных частиц, через которые проходит электрический ток (рис.1). Выделяющаяся при этом энергия способна обеспечить протекание различных эндотермических реакций. Электрические разряды между частицами создают область микроплазмы и разрушают химические связи в молекулах реагирующих веществ. При этом происходит высокоэнергетическая активация реагирующих компонентов, а в реакторе ЭТКС достигаются высокие температуры (1200 °С и выше). Углеродные частицы являются не только проводниками электрического тока, но и хорошим восстановителем, а на их поверхности могут протекать гетерогенные реакции. В результате реагирующие вещества подвергаются воздействию разнообразных источников энергии и химически активных компонентов. Следует отметить, что внутренний нагрев углеродных частиц при протекании электрического тока принципиально более эффективен для теплообмена, чем их нагрев при обтекании горячим газом. Все это позволяет значительно интенсифицировать протекающие химические реакции [7, 8].



Экспериментальное исследование проводили на автоматизированной установке с реактором ЭТКС внутренним диаметром 180 мм (рис. 2). В качестве исходных материалов использовались кварцевый песок фракции 0,05–0,10 мм следующего химического состава, %: $[\text{SiO}_2]$ – 91,2; $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ – 6,4; $[\text{CaO}]$ – 0,3; $[\text{TiO}_2]$ – 1,3; $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$ – 0,3.

Углеродным восстановителем являлся рексил фракции 0,25–0,40 мм, полученный из угля методом высокоскоростной термоокислительной карбонизации (таблица) [13]. Рексил обладает развитой тонкопористой структурой с внутренней поверхностью сообщающихся пор до $600 \text{ м}^2/\text{г}$ и высоким содержанием твердого углерода $C_{\text{ТВ}}$ – более 95%.

Методика экспериментов описана в [6]. Первоначальная загрузка в реактор рексила составляла от 800 до 1200 г., SiO_2 подавался дискретно порциями по 20–40 г, общее его количество достигало 400–500 г. Содержание CO в отходящих газах становится заметным после введения в реактор первых порций кремнезема и возрастает с ростом температуры, что свидетельствует об образовании карбида кремния по суммарной реакции (1).

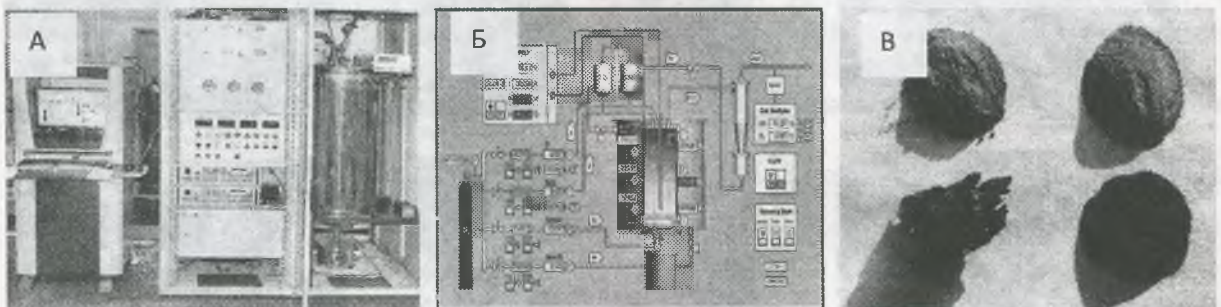


Рисунок 2 – Автоматизированная экспериментальная установка с реактором ЭТКС (А), мнемосхема управляющей программы (Б), образцы SiC и шихты (В).

Одновременно с появлением SiC изменяется электрическое сопротивление кипящего слоя.

Анализ элементного и фазового состава полученных в реакторе ЭТКС образцов проводили в Испытательном центре ГНУ «Институт порошковой металлургии НАН Беларуси». Использовались аттестованный рентенофлуоресцентный спектрометр ЕД2000 фирмы «Oxford Instruments Analytical» (Великобритания) (элементный состав), рентгеновский дифрактометр «Дрон-3.0» в $\text{CuK}\alpha$ -излучении (РФА - спектры), экспресс-

анализатор АН-7529 (углерод), экспресс-анализатор АС 7932 (сера), сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (микроструктура).

Содержание мелкозернистого карбида кремния в образующейся в реакторе ЭТКС шихте достигает 50%, а после выжигания избыточного углерода превышает 95%. Содержащиеся в исходных кремнезёме и рексиле примеси железа, алюминия, кальция, титана и другие переходят в образовавшийся SiC. Таким образом, чистота получаемого мелкозернистого карбида кремния определяется чистотой исходных материалов.

Морфология образцов исходного рексила, образующихся в реакторе ЭТКС шихты и карбида кремния представлены на рис. 3, на рис. 4 – типичные РФА – спектры.

Структура исходного углеродного восстановителя – рексила (рис. 4а) состоит из системы транспортных пор и нанопор. Такая структура обеспечивает доступность его порового пространства для монооксида кремния.

Кроме того, оказывает благоприятное влияние на скорость образования SiC невысокое содержание остаточных летучих веществ в рексиле (1–1,5 %), которые выделяются из восстановителя при нагревании и могут препятствовать проникновению в него газообразного монооксида кремния.

Как видно из рис. 3 и 4, в результате диффузионных процессов в условиях ЭТКС происходит образование карбида кремния. Постоянное удаление из реактора ЭТКС образующегося монооксида углерода CO и избыток углерода смещают равновесие в сторону образования SiC, что позволяет в отличие от синтеза по методу Ачесона осуществлять взаимодействие компонентов при более низких температурах.

Использование рексила с развитой пористой структурой, низким содержанием летучих веществ и примесей по сравнению с нефтяным коксом в качестве твердого углеродного восстановителя для получения карбида кремния способствует повышению эффективности процесса. Дополнительное воздействие на выход SiC оказывает и нагрев материала кипящего слоя за счет пропускания электрического тока.

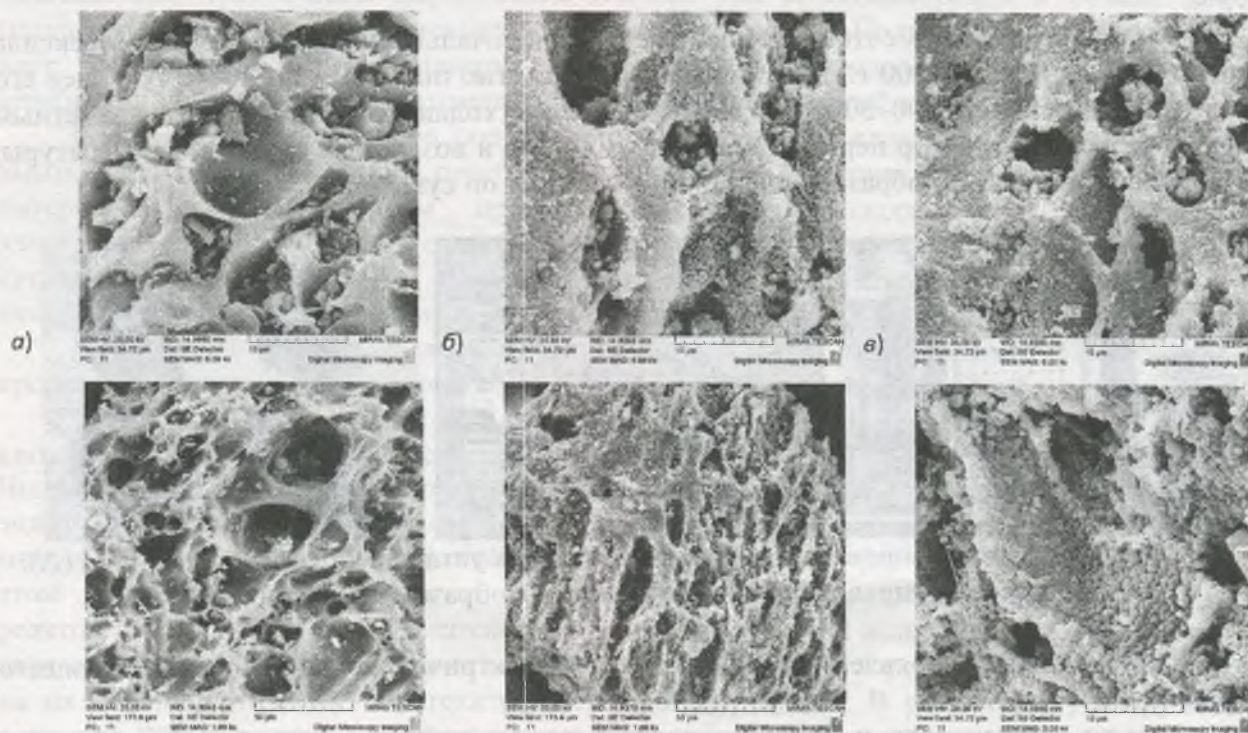


Рисунок 3 – Морфология мелкозернистых образцов: исходного рексила (а), получаемых шихты (б) и карбида кремния (в)

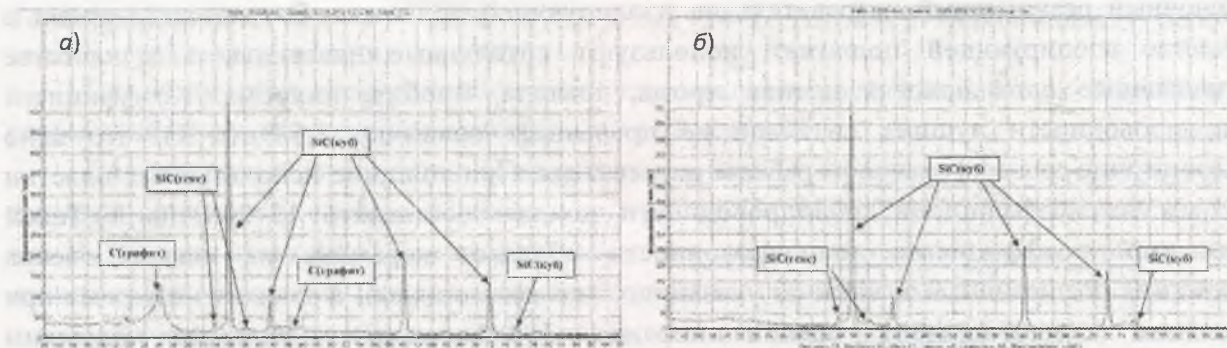


Рисунок 4 – РФА–спектры получаемых в ЭТКС мелкозернистых образцов шихты (а) и карбида кремния SiC (б)

Экспериментальные результаты показывают, что образование SiC начинается при 1400°C и выше после плавления и испарения SiO_2 .

Образующийся в реакторе ЭТКС мелкозернистый карбидокремниевый порошок имеет широкие области практического применения.

Список литературы

1. Порада А. Н., Гасик М. И. Электротермия неорганических материалов. М.: Металлургия, 1990. – 232 с.
2. Лучинин В., Таиров Ю. Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету // Электроника. 2009. № 7. С. 12–15.
3. Ермакова Ж. С., Мансуров З. А., Абдулкаримова Р. Г., Мукасян А. С. Карбид кремния: способы получения и применение (обзор) // Горение и плазмохимия. 2010. Т 8, № 1. С. 32–54.
4. Руднева В. В., Галевский Г. В., Юркова Е. К. Компактирование карбида кремния и композиций на его основе: анализ отечественного и зарубежного опыта // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2009. № 3. С. 56–60.
5. Goldberger W. M., Hanway J. E., Langston B. G. The electrothermal fluidized bed. // Chem. Enging. Prog. 1965. Vol. 61. № 2. P. 63-67.
6. Бородуля В. А., Виноградов Л. М., Гребеньков А. Ж., Михайлов А. А., Сидорович А. М. Исследование получения карбида кремния восстановлением кремнезёма нефтекоксом в электротермическом кипящем слое // Тепло- и массоперенос–2011: Сб. науч. тр. / Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. Минск, 2011. С. 74–80.
7. Забродский С. С. Высокотемпературные установки с псевдооживленным слоем. М.: Энергия. 1971. – 328 с.
8. Бородуля В. А. Высокотемпературные процессы в электротермическом кипящем слое. Минск: Наука и техника. 1973. – 176 с.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОЧНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНОЙ ОСНОВЕ

Астапчик С.А., Волочко А.Т., Марков Г.В.

ГНУ "Физико-технический институт НАН Беларуси", г. Минск, Беларусь
volochkoat@mail.ru

Создание новых объектов техники (в том числе компьютерных устройств, систем авионики и др.), эксплуатирующихся при низких температурах требует использования высокоэффективных нагревательных устройств [1], где основным элементом является