

## О Т З Ы В

на автореферат диссертационной работы Швецова Алексея Анатольевича «Исследование взаимодействия углерода с расплавом кремния в процессе получения силицированного графита», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.17.11 –Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Углерод-карбидокремниевые материалы (УККМ) благодаря высокому уровню физико-механических свойств, износостойкости, окислительной стойкости, и стойкости к различным агрессивным средам нашли широкое применение в различных отраслях промышленности таких как атомная энергетика, авиа- и ракетостроение, нефтегазовый комплекс, машиностроение, металлургия, химическая промышленность и др.

Одним из представителей такого класса материалов является силицированный графит, получаемый пропиткой углеродной основы расплавом кремния. Данная технология позволяет получать сложнопрофильные и крупногабаритные изделия без дополнительной механической обработки. Другим преимуществом данной технологии является высокая производительность процесса при сравнительно низких энергозатратах и возможность получения беспористых материалов.

Силицированный графит (СГ) - эрозионно- и коррозийноустойчивый материал. Он сочетает в себе высокую жаропрочность и стойкость к многократным теплосменам, низкую газопроницаемость поэтому находит применение в ракетной технике - в процессе создания сопел и газоструйных рулей и т.п. В целях защиты углеродной основы от окисления и повышения микротвердости на поверхности создают пленку из карбида кремния. Для управления процессами образования плотного слоя карбида кремния необходимо полное понимание механизма образования SiC при жидкофазном силицировании углеродных материалов.

Основное внимание в диссертационной работе А.А.Швецова посвящено определению основных стадий процесса образования карбида кремния при жидкофазном силицировании и определению основных факторов, влияющих на этот процесс. Исследовано влияние различных источников углерода и их температуры обработки, наличие примеси железа, структурных особенностей.

В литературе вопрос посвященный пониманию механизма карбидообразования при жидкофазном силицировании различных источников углерода изучен слабо.

Так как в настоящее время в России существует проблема получения углеродной основы для СГ из искусственного графита высокой чистоты со стабильными свойствами, то разработка технологии получения новых СГ

материалов осуществляется в условиях постоянного изменения качества исходного сырья.

С учетом вышеизложенного, **актуальность** выбранной соискателем темы не вызывает сомнений.

**Научная новизна** работы заключается в установлении зависимости между образованием дефектов структуры силицированных образцов на основе термообработанных изотопных коксов с изменением значения микротекстурного параметра, а так же уровнем микродеформаций структуры углерода. Экспериментально установлена зависимость между содержанием карбида кремния на углеродных структурах от увеличения доли призматических плоскостей. Методом рентгеноструктурного и энергодисперсионного анализа установлено наличие микрогруппировок углерода и определено содержание углерода в расплаве кремния, со значительным насыщением углерода расплава кремния, свидетельствующим о том, что имеет место отсутствие равновесия в расплаве при различных временах контакта с углеродным материалов, имеющими различную надкристаллитную структуру. Установлен характер изменения размеров кристаллов SiC первого и второго карбидного слоя. Показано, что стеклоуглерод на начальных стадиях взаимодействуя с расплавом кремния является более реакционно способным, по сравнению с пирографитом, несмотря на различную толщину карбидного слоя.

Достоверность проведенных исследований подтверждена большим числом экспериментальных данных и исследованием силицированных образцов различных углеродных материалов.

**Практическое значение** работы определяется тем, что результаты исследований легли в основу разработки технологии получения среднезернистого силицированного графита марки СГ-П, который производится в АО «НИИГрафит». Разработан технологический процесс ТП 00200851-230-2014. Результаты работы нашли применение в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 18.03.01 и магистров по направлению 18.04.01 Химическая технология в ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И.Менделеева.

#### **Замечания по диссертационной работе**

В работе недостаточно отражено влияние температуры обработки, карбонизированной среднезернистой коксопечковой композиции на ее характеристики, поэтому не представляется возможным определить соответствие полученных результатов поставленным задачам.

Не указана марка и чистота кремния, который использовался для исследования стадий образования карбида кремния при жидкофазном силицировании на установке для исследования смачивания методом «сидящей» капли.

В работе не отражено влияние атмосферы в которой проводились эксперименты (вакуум/аргон).

В автореферате много опечаток.

Данные замечания не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Автореферат достаточно полно отражает суть исследования и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Автор Швецов Алексей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов; 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Начальник сектора лаборатории по  
разработке материалов на основе нитридов  
для радиопрозрачных обтекателей, а так же  
карбидов и боридов для изделий ракетной  
техники и технологии изготовления изделий  
на их основе

Н.А.Голубева

Ученый секретарь  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»  
кандидат технических наук

Н.И.Ершова

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»  
Государственный научный центр Российской Федерации  
249031, г.Обнинск, Калужской области, Киевское шоссе, 15  
E-mail: [info@technologiya.ru](mailto:info@technologiya.ru), факс (484) 396-45-75  
Тел. (484) 399-68-68

Подпись начальника сектора Н.А.Голубевой и ученого секретаря Н.И.Ершовой  
заверяю:

Начальник ОКА  
АО «ОНПП «Технология» им.А.Г.Ромашина»

  

Е.А.Чуканова