

# Исследование процесса термохимической обработки поверхности композиционного материала алмаз – карбид кремния - кремний

А.В.Дерябкин<sup>1</sup>, Е.Н. Куликов<sup>1</sup> Ю.Ю. Фёдоров<sup>1</sup>, С.К. Гордеев<sup>2</sup>, С.Б. Корчагина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

<sup>2</sup> АО «ЦНИИМ», г. Санкт-Петербург

**Аннотация:** в работе рассмотрен механизм термохимической обработки композиционного материала АКК «Скелетон» на поверхности стали, отшлифованной до 13 класса чистоты, в среде водорода в диапазоне температур (900÷1320) °С. Установлено, что при температурах (1110÷1130) °С происходит активное растворение в нелегированной стали алмазных зерен, а при температурах в диапазоне (1210÷1250) °С преобладает активное растворение карбидокремниевой матрицы. Процесс двухстадийной обработки позволяет получать шероховатость поверхности композиционного материала до 2 мкм.

**Ключевые слова:** Шероховатость, поверхность, композиционный материал, шлифовка, сталь, алмаз, кремний, карбид кремния.

## 1. Введение

При увеличении мощности изделий СВЧ - электроники необходимо уделять особое внимание отводу тепла. Основную роль в процессе отвода тепла играет теплопроводность материалов теплоотводящих элементов. Один из путей эффективного отвода тепла в изделиях мощной СВЧ электроники — это применение теплоотводов из материалов с высокой теплопроводностью

Представляется перспективным использование в качестве высокоэффективного теплоотвода композиционного материала с высокой (до 600 Вт/мК) теплопроводностью: алмаз-карбидокремниевый композит (АКК) «Скелетон» [1], структура которого включает алмазные частицы, связанные в единый композит карбидокремниевой матрицей.

В АКК "Скелетон" реализуется фонон-фононный механизм теплопроводности, который характеризуется частотой колебаний элементов кристаллической решетки, составляющих его структуру. Материал с некоторым частичным химическим изменением поверхности зерен алмаза в карбидокремниевую матрицу, обеспечивает хорошее согласование кристаллических решеток алмаза и карбидокремниевой матрицы и слабое рассеяние фононов на границах их раздела. Этот механизм обеспечивает довольно высокую теплопроводность композитного материала в целом

Изменение пропорции компонентов композита позволяет корректировать свойства материала в широких пределах. Очень высокая твердость подобных композитов сильно затрудняет последующую обработку изготовленных из них деталей традиционными методами, поэтому весьма актуальным является поиск и применение новых методов обработки.

В работе исследовалась возможность применения термохимической обработки [2] для АКК «Скелетон». Данный метод основан на термодиффузионном растворении углерода (из которого состоит алмаз) и кремния в железе при высоких температурах.

Для исследования процесса термохимической обработки были подготовлены образцы композиционного материала с составом: алмаз 59%об., карбид кремния 34%об., кремний 7% об. размером 10 x 10 мм и толщиной 3 мм и пластины из нелегированной стали размером 20×20×3мм, отшлифованные до 13 класса чистоты.

Термическое растворение композита проводилось в водородной печи САМсо В16 в атмосфере водорода. Температура обработки изменялась в диапазоне от 900 до 1320 °С. Шероховатость поверхности алмаза исследовалась с помощью атомно-силового микроскопа Solver P47 Pro и профилометра АБРИС-ПМ7.

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

В работе [2] приведен пример термохимической обработки поверхности алмаза при температурах (1147 – 1200) °С. На рисунке 1 представлена диаграмма состояний железо – углерод, иллюстрирующая фазы, температуры и взаимные концентрации компонентов системы, на которых основывается метод термохимической обработки алмаза.

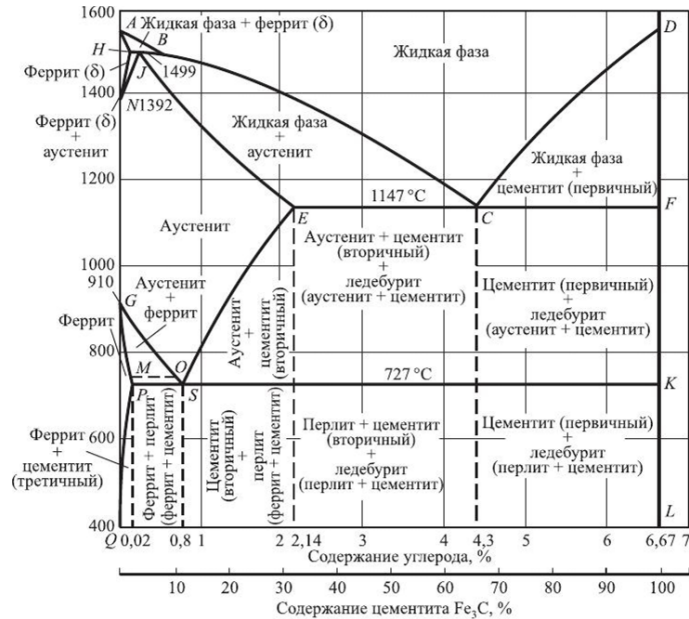


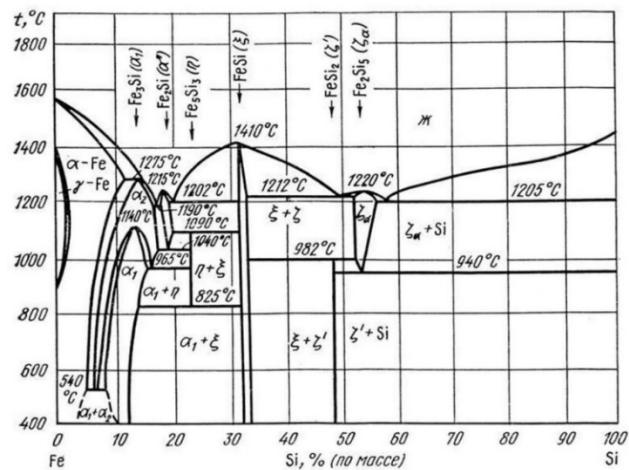
Рисунок 1. Диаграмма состояний железо – углерод.

Данный режим не может применяться для АКК «Скелетон», т.к. в его структуру входит не только алмаз, но кремний и карбид кремния. Причем для всех этих материалов существуют свои оптимальные режимы термообработки.

На диаграмме состояний железо-кремний (рис.2) имеются две области зарождения жидкой фазы. В температурном интервале (1203 ÷ 1410) °С скорость травления во многом будет определяться взаимной диффузией железа и кремния в твердой фазе, а после 1410 °С – будет определяться диффузией кремния и железа в жидкой фазе.

В ходе выполненных экспериментов было установлено, что при термообработке композиционного материала алмаз - карбид кремния - кремний, находящегося в контакте со сталью при температуре выше 1110 °С происходит уменьшение размеров композита (высоты пластины) и уменьшение шероховатости поверхности за счет растворения поверхностного слоя в железе.

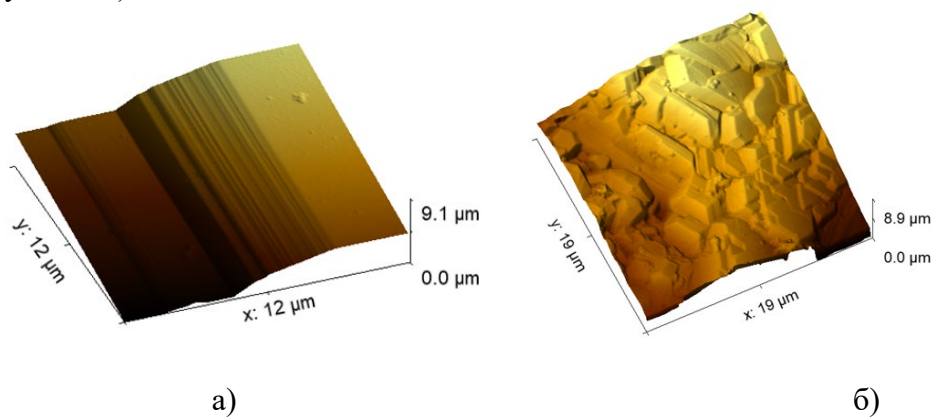
Однако в этих условиях травление алмазных зерен происходит более интенсивно, чем карбидокремниевой матрицы композита. Процесс травления матрицы активизируется при температурах выше 1210°C. При этом происходит активное растворение в железе не только алмазных зерен, но и карбидокремниевой матрицы. Причем скорость травления матрицы даже превышает скорость травления алмазных зерен.



**Рисунок 2.** Диаграмма состояний железо – кремний.

В ходе экспериментов было установлено, что скорость термодиффузионного растворения компонентов композита в железе значительно снижается во времени: наиболее интенсивно процесс протекает в течение первых 1-2 минут, за которые происходит удаление 30-100 мкм материала. Поэтому для более глубокой обработки композита стадию термодиффузионной обработки повторяют несколько раз, используя в каждом случае новые стальные пластины.

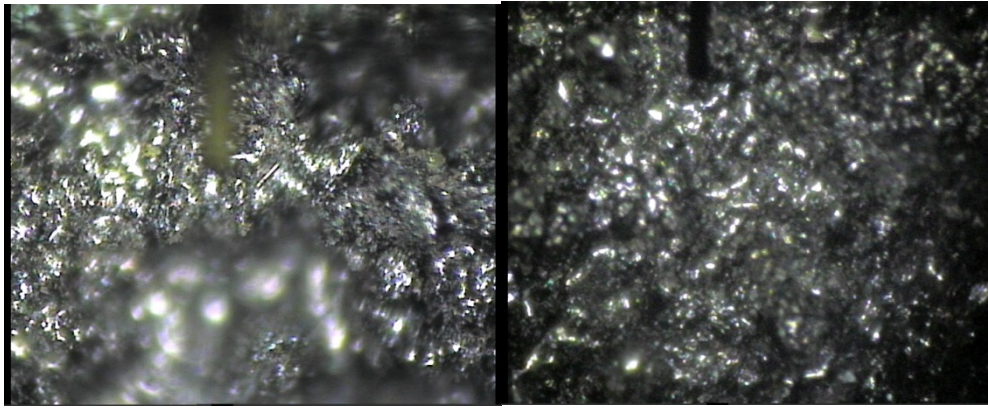
Как уже отмечалось, особенность термообработки при температурах 1210-1250°C состоит в том, что скорость травления карбидокремниевой матрицы выше скорости травления алмаза. Поэтому поверхность композита после такой обработки имеет относительно высокую шероховатость, сформированную выступающими алмазными зернами (рисунок 3,4).



**Рисунок 3.** Трехмерный скан поверхности образца АКК "Скелетон" до (а) и после (б) термохимической обработки.

Для уменьшения шероховатости необходимо осуществить дополнительную стадию термообработки, проводимую при температуре (1110 ÷ 1130) °C. В работе [3] показано, что в данном диапазоне ниже точки эвтектики диаграммы состояний железо-углерод термическое растворение алмаза происходит медленнее, чем в жидкой фазе, но поверхность пластины получается с меньшей шероховатостью.

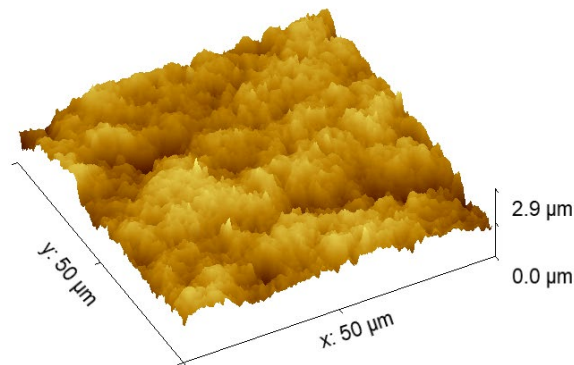
В результате, активное растворение алмазных зерен в стали при этих условиях приводит к выравниванию поверхности: отсутствуют выступы алмаза над карбидокремниевой матрицей на поверхности композита и уменьшается ее шероховатость (рисунок 5).



а)

б)

**Рисунок 4.** Оптические фотографии поверхности образца до (а) и после (б) термохимической обработки.



**Рисунок 5.** Поверхность АКК "Скелетон" после термообработки при температуре  $(1110 \div 1130)^\circ\text{C}$ .

### 3. Заключение

За счет проведения двух термохимических обработок пластина из композиционного материала была утонена до требуемой величины 2,0 мм, а шероховатость поверхности составила около 2 мкм.

Оценка шероховатости слоев методами атомно-силовой микроскопии подтвердили вывод о том, что термохимическая обработка приводит к общему сглаживанию поверхности АКК «Скелетон».

Таким образом, реализация предлагаемой двухстадийной термообработки позволяет обрабатывать композиты алмаз - карбид кремния с высокой производительностью, обеспечивая при этом большой съём материала и улучшением шероховатости поверхности.

#### Список литературы

1. Гордеев С.К., Жуков С.Г., Данчукова Л.В., Экстрем Т.С. Особенности получения композиционных материалов на основе алмаза, карбида кремния и кремния при низких давлениях. – Неорганические материалы, 2001, т.37, №6, с.691–696.
2. Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю., Кудряшов О.Ю., Леонтьев И.А. Термическая обработка поликристаллического CVD- алмаза с целью формирования гладкой поверхности. Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника, 2008. Вып. 2(495). С.41-46.
3. Дерябкин А.В. Диффузионная термохимическая обработка поверхности алмаза. Электроника и электрооборудование транспорта. №4. 2018. С.35 -37.