

**МАХ-ФАЗА Ti_3SiC_2 КАК ВОЗМОЖНЫЙ МАТЕРИАЛ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ
ОБОЛОЧЕК ТВЭЛ НА АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛАХ И В АРКТИЧЕСКОМ СУДОСТРОЕНИИ**

А.В. СПОДИНА, А.А. СВИНУХОВА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: avs363@tpu.ru

Введение

В настоящее время в России происходит постепенное освоение ранее нетронутых природных территорий. В том числе происходит освоение Арктики как хозяйственного региона с особыми климатическими условиями. В последние годы принят ряд государственных решений, направленных на восстановление и развитие Северного морского пути, расширение территорий арктического шельфа. В связи с этим растет потребность в новых видах сложной морской техники, обеспечивающей эффективное и экологически безопасное освоение морских арктических месторождений. Эксплуатация имеющихся ледоколов показала, что совместное воздействие льда и морской воды приводит к коррозионно-эрозионному разрушению наружного слоя обшивки, возникает шероховатость, язвенные образования с острыми кромками. Это требует разработки высоконадежных хладостойких материалов нового поколения для создания мощного ледокольного флота, морской и инженерной техники арктического назначения. Решением может стать применение тугоплавких материалов в изготовлении обшивок морских судов [1, 2].

Исходя из этого, мной было решено предложить использование порошка карбосилицида титана, полученного с помощью безвакуумного электродугового метода, как напыление на наружный слой обшивки судов и как возможный материал защитного покрытия оболочек ТВЭЛ на атомных ледоколах.

Методы и материалы

В данной работе реализованы безвакуумный электродуговой синтез (60 с, 200 А) и искровое плазменное спекание (SPS) МАХ-фазы Ti_3SiC_2 . Проведены исследования методом рентгеновской дифрактометрии. В качестве исходного сырья были использованы порошок металлического титана («Редкий металл», Россия, не более 10 мкм, чистота 99.9 %), кремний («Heerani Tools Store», Китай, чистота 99.9 %), карбид кремния (синтезированный), карбид титана («Редкий металл», Россия, не более 10 мкм, чистота 99.9 %) и углерод, полученный пиролизом из органических отходов (скорлупа кедрового ореха).

Эксперимент

Исследования были проведены на лабораторном стенде Томского политехнического университета. Стенд представляет из себя безвакуумный плазменный электродуговой реактор, предназначенный для синтеза карбидов, боридов, силицидов металлов и неметаллов, а также для переработки сложно утилизируемых отходов. В данной работе реактор применялся для синтеза карбида кремния.

Изначально были совершены попытки синтеза порошковой МАХ-фазы электродуговым методом, используя соотношения исходных реагентов согласно литературным данным [3]. Результаты рентгеновской дифрактометрии представлены ниже:

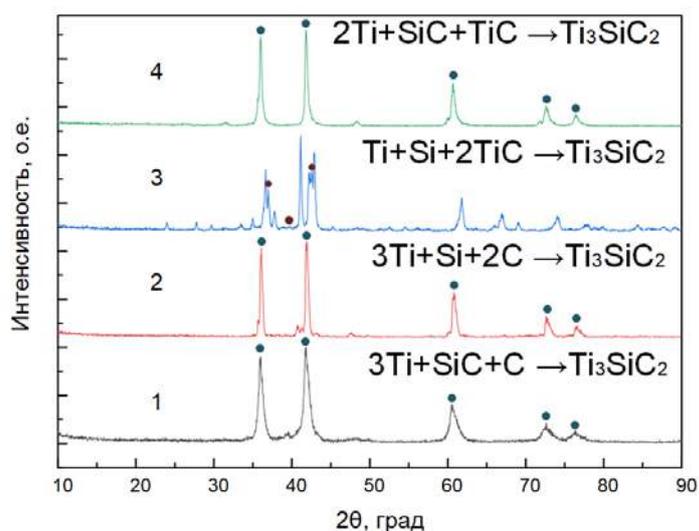


Рисунок 1. Результаты рентгеновской дифрактометрии порошков Ti_3SiC_2 , полученных электродуговым синтезом

На рисунке 1 представлены результаты рентгеновской дифрактометрии порошка Ti_3SiC_2 . На графике видно, что в образцах 1), 2) и 4) МАХ-фаза не обнаружена, а в образце 3) она составляет 25 % от общего количества. Во всех образцах значительную долю вещества составляет карбид титана. Такие результаты обуславливаются тем, что на электродуговом реакторе широкий градиент температуры, при котором невозможно контролировать выход фазы Ti_3SiC_2 .

Можно сделать вывод, что синтез МАХ-фазы безвакуумным электродуговым методом не является рентабельным.

Было решено реализовать синтез МАХ-фазы методом искрового плазменного спекания, без предварительного синтеза на электродуговом реакторе. Для этого было выбрано лучшее соотношение исходных реагентов - (3).

Было получено 3 керамических образца, состоящих из карбида титана, силицида титана и МАХ-фазы – Ti_3SiC_2 . На рисунке 2 представлены результаты рентгеновской дифрактометрии керамических образцов. По представленной зависимости видно, что при снижении температуры спекания выход МАХ-фазы увеличивается.

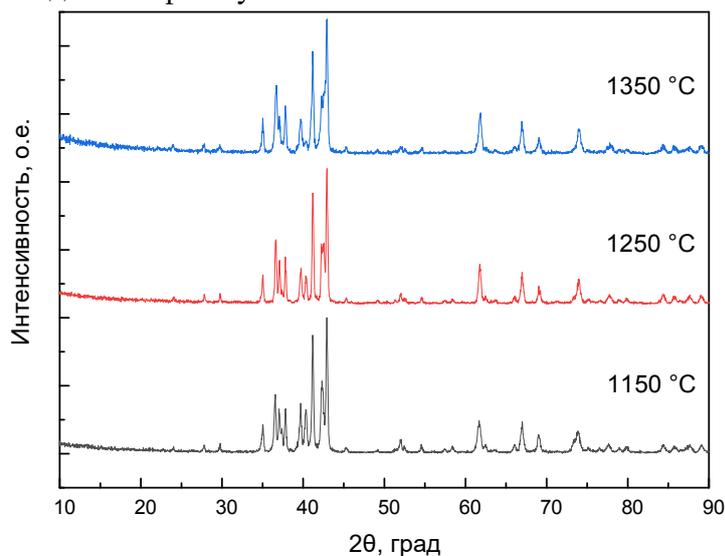


Рисунок 2. Результаты рентгеновской дифрактометрии керамических образцов Ti_3SiC_2

Результаты

Применение карбида кремния, полученного безвакуумным электродуговым методом, для получения МАХ-фазы Ti_3SiC_2 является экономичным, так как обычно для получения порошка карбида кремния используются методики, которым необходимы вакуумное оборудование и инертные газы для исключения окисления материала, а в используемой методике оно не требуется. Конструкция реактора позволяет отказаться от вакуумного оборудования, так как в процессе синтеза происходит резкая генерация газов CO и CO_2 , облако из которых запирает горловину тигля, предотвращая попадание кислорода воздуха в реакционную зону.

В ходе первичной апробации порошка карбосилицида титана в спекании керамики были получены следующие результаты:

1. Применение карбида кремния, полученного безвакуумным электродуговым методом, является более экономичным по сравнению со стандартными методами получения карбида кремния.

2. Керамика из карбосилицида титана превосходит свои аналоги по прочности. Она обладает малой плотностью, высокими значениями тепло- и электропроводности, прочности, пониженным модулем упругости, превосходной коррозионной стойкостью в агрессивных жидких средах, стойкостью к высокотемпературному окислению и термическим ударам, а также легко подвергаются механической обработке, имеют высокую температуру плавления и являются достаточно стабильными при температурах до $1000\text{ }^{\circ}C$ и выше.

3. Наличие макс-фазы в керамике карбида титана положительно влияет на свойства керамики для использования в атомной промышленности и кораблестроении в арктических условиях.

4. Количество МАХ-фазы полученной керамики методом искрового плазменного спекания превосходит количество МАХ-фазы, полученного в порошке на предыдущем этапе работы (электродуговой метод получения МАХ-фазы).

Выводы

В данной работе представлена возможность синтеза керамики, в состав которой входит МАХ-фаза Ti_3SiC_2 . При литературном анализе было отмечено, что изучением и получением такого материала как карбосилицид титана на данный момент занимается не так много ученых. Это связано с тем, что этот материал является достаточно новым. Так, в дальнейшем, если удастся выйти на подходящий режим синтеза и необходимое соотношение исходного сырья, мы сможем занять определенную нишу в производстве данного материала.

Список литературы

1. Хлусова Е.И., Сыч О.В. Стали для Арктики // Журнал «Neftegaz.RU». – 2020. – № 5.
2. Сметкин А.А., Майорова Ю.К. Свойства материалов на основе МАХ-ФАЗ // Вестник ПНИПУ. – 2015. – Т. 17. – № 4. – С. 124.
3. Перевислов С.Н., Синтез, структура и свойства МАХ-фаз Ti_3SiC_2 , полученных горячим прессованием // Журнал неорганической химии. – 2021. – Т. 66. – № 8. – С. 987–993.