



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C04B 35/532 (2026.05); C04B 35/573 (2026.05); C04B 35/63476 (2026.05); B82Y 40/00 (2026.05)

(21)(22) Заявка: 2025138890, 27.12.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2025Дата регистрации:
04.08.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2025

(45) Опубликовано: 04.08.2026 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн. тер. г. Муниципальный
округ Басманный, 2-я Бауманская ул., 5, стр.
1, ФГАОУ ВО "Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский
университет)", Амелина Ксения Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Меликянц Давид Георгиевич (RU),
Каледин Алексей Владимирович (RU),
Шикунев Сергей Леонидович (RU),
Курлов Владимир Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2573146 C1, 20.01.2016. RU
2556673 C1, 10.07.2015. RU 2771121 C1,
26.04.2022. RU 2493098 C1, 20.09.2013. CN
102515800 A, 27.06.2012. JP 4786829 B2,
05.10.2011.

(54) Композиция углеродной заготовки с фуллереновой сажой для получения высокоплотной SiC/C/Si керамики

(57) Реферат:

Изобретение относится к области получения керамических материалов на основе карбида кремния (SiC), а именно высокоплотным композитным материалам SiC/C/Si, и может быть применено для изготовления крупногабаритных и сложных изделий для различных отраслей промышленности - добывающей, обрабатывающей и энергетической. В композиции для получения углеродной заготовки для высокоплотной SiC/C/Si керамики, содержащей 85 мас.% измельченного искусственного графита плотностью от 1,7 до 1,85 г/см³ с размером частиц не более 50 мкм и органическое связующее -

используется фенольная смола с добавлением фуллереновой сажи в количестве 0,1-1 мас.% от массы связующего. Технический результат изобретения состоит в увеличении выхода годных заготовок при производстве высокоплотной SiC/C/Si керамики путем силицирования пористых углеродных заготовок, повышении точности формообразования пористых углеродных заготовок, возможности изготовления крупногабаритных изделий и изделий сложных геометрических форм с повышением точности изготовления малых элементов, повышении прочности обрабатываемых углеродных заготовок до 30%. 3 ил., 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C04B 35/532 (2026.05); C04B 35/573 (2026.05); C04B 35/63476 (2026.05); B82Y 40/00 (2026.05)(21)(22) Application: **2025138890, 27.12.2025**(24) Effective date for property rights:
27.12.2025Registration date:
04.08.2026

Priority:

(22) Date of filing: **27.12.2025**(45) Date of publication: **04.08.2026** Bull. № 22

Mail address:

105005, Moskva, vn. ter. g. Munitsipalnyj okrug
Basmannyj, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1,
FGAOU VO "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)", Amelina
Kseniya Evgenevna

(72) Inventor(s):

**Melikiants David Georgievich (RU),
Kaledin Aleksei Vladimirovich (RU),
Shikunov Sergei Leonidovich (RU),
Kurlov Vladimir Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia "Moskovskij gosudarstvennyi
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)" (RU)**

(54) **COMPOSITION OF CARBON BLANK WITH FULLERENE SOOT FOR PRODUCING HIGH-DENSITY SiC/C/Si CERAMICS**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to producing ceramic materials based on silicon carbide (SiC), namely high-density composite materials SiC/C/Si, and can be used for the manufacture of large-sized and complex products for various industries such as mining, manufacturing and energy. In a composition for producing a carbon blank for high-density SiC/C/Si ceramics, comprising 85 wt.% of crushed artificial graphite with a density of 1.7 to 1.85 g/cm³ with a particle size of no more than 50 mcm and an organic

binder is the rest, a phenolic resin with the addition of fullerene soot in an amount of 0.1-1 wt.% of the binder weight is used as an organic binder.

EFFECT: increasing the yield of suitable blanks in the production of high-density SiC/C/Si ceramics by siliconizing porous carbon blanks, increasing the accuracy of shaping porous carbon blanks, possibility of manufacturing large-sized products and products of complex geometric shapes with increased accuracy in the manufacture of small elements, and increasing the strength of processed carbon blanks by up to 30%.

1 cl, 3 dwg, 2 tbl

Область техники

Заявляемое изобретение относится к области получения керамических материалов на основе карбида кремния (SiC), а именно высокоплотным карбидокремниевым керамикам SiC/C/Si, и может быть применено для изготовления, в том числе, крупногабаритных и сложных изделий для применения в различных отраслях промышленности - добывающей, обрабатывающей и энергетической, ВПК, ЖКХ и др.

Уровень техники

Высокоплотная SiC/C/Si керамика характеризуется высокими физико-механическими характеристиками и термоокислительной стойкостью. Структура результирующей керамики определяется способом производства. Существуют различные методы получения высокоплотных керамических материалов на основе SiC, такие как спекание порошка SiC при высоких ($>2100^{\circ}\text{C}$) температурах, горячее прессование.

Горячепрессованный SiC обладает высокой плотностью, близкой к $3,22 \text{ г/см}^3$, и предельно-достижимой прочностью, за счет термодиффузионного спекания зерен с увеличенной общей поверхностью контакта. Изделия получают дорогостоящие в пересчете на массу из-за сложности технологического процесса, энергоемкости, высокой стоимости оснастки, большой трудоемкости, кроме того, невозможно изготовление деталей сложных форм. Карбидокремниевые керамики, полученные путем реакционного связывания порошков первичного карбида кремния, представляют собой гетерогенные композиции, в которых отдельные зерна SiC цементированы связками, а свойства материала существенно зависят от содержания фазовых составляющих, их размеров, характера распределения и природы межфазного взаимодействия. Для получения высокой плотности материала требуются композиции с малым содержанием связующего, отчего, заготовки, спрессованные из таких композиций, не обладают достаточной механической прочностью. Таким образом, затруднена их предварительная обработка на токарных, фрезерных и т.п. станках для получения форм, близких к геометрии готовых изделий. Кроме того, заготовки до пропитки расплавом кремния (силицирования) содержат в себе абразивные компоненты (порошок первичного SiC), что вредит обрабатываемому оборудованию.

Керамики на основе карбида кремния состава SiC/C/Si также могут быть получены путем пропитки кремнием пористых углеродных матриц, этот класс материалов называют силицированными графитами. При этом получают керамики с непрерывным SiC каркасом, в промежутках которого находятся остаточные углерод и кремний. Существенным преимуществом, которое дает использование в качестве заготовки мягкой углеродной матрицы, является возможность полного формообразования керамического изделия на стадии этой заготовки, в том числе получение изделий большого размера и сложной формы.

Так, известны керамики с содержанием SiC до 92%, где их углеродные заготовки до силицирования в композиции содержат углеродные порошки разных фракций и органическое связующее в определенной пропорции [Патент РФ 2573146 Композиция углеродной заготовки для получения SiC/C/Si керамики и способ получения SiC/C/Si изделий. Опубликовано: 20.01.2016 Бюл. № 2]. Углеродные заготовки после смешения углеродных компонентов и органического связующего, формования и/или прессования при давлении $100 \text{ кг/см}^2 - 350 \text{ кг/см}^2$, подвергаются пиролизу в инертной среде, механической обработке до формы готового изделия обычным режущим инструментом, применяемым для обработки графита, после чего они готовы к пропитке расплавом кремния (силицированию) в вакуумной печи для образования SiC/C/Si структуры. Для

получения максимальной плотности материала используются порошки только малой фракции (менее 50 мкм), для наибольшего процента перехода в карбид кремния в процессе силицирования. При этом давление прессования заготовки минимально (100 кг/см²) для сохранения достаточной пористости с целью обеспечения протекания реакции силицирования в полном объеме. Недостатком известной композиции для получения максимальной плотности SiC/C/Si керамики является низкая плотность получающейся углеродной заготовки. Вследствие относительно малого давления прессования заготовки обладают меньшей прочностью, что ограничивает возможности их формообразования механической обработкой на этапе углеродной заготовки при применении для изготовления крупногабаритных изделий и изделий сложной формы.

В качестве органического связующего в композицию силицированных графитов входят полимерные смолы. Известно, что фуллероиды, равномерно диспергированные в полимере, существенно влияют на его механические свойства из-за возникновения ориентации в расположении молекул полимера за счет упорядочивающего действия фуллероидов. Данный эффект может приводить к уменьшению свободного объема полимера. Введение малого количества фуллерена C₆₀ в композицию на основе фенольной смолы увеличивает прочность клеевого соединения в 2,7 раза по сравнению с немодифицированным материалом. [Модификация свойств полимерных материалов малыми концентрациями фуллероидов И.С.Епифановский, А.Н.Пономарев, А.А.Донской, С.В.Каширин Перспективные материалы 2006 №2 15-18]. Также фуллерен блокирует свободные радикалы полимеров, выступает в роли «стоппера магистральных трещин» в жёстком линейном полимере, что повышает прочностные и деформационные свойства смолы [Бадамшина Э.Р., and Гафурова М.П.. "Модификация свойств полимеров путем допирования фуллереном C₆₀" Высокомолекулярные соединения. Серия Б, vol. 50, no. 8, 2008, pp. 1572-1584].

Задача изобретения состоит в усовершенствовании композиции для получения высокоплотных изделий из SiC/C/Si керамик путем пропитки жидким кремнием пористых углеродных матриц для изготовления крупногабаритных деталей и деталей сложной формы.

Технический результат изобретения состоит в увеличении выхода годного при производстве высокоплотной SiC/C/Si керамики путем силицирования пористых углеродных заготовок, повышении точности формообразования пористых углеродных заготовок, возможности изготовления изделий сложных геометрических форм с повышением точности изготовления малых элементов на не менее чем 50 % (минимальный размера элемента не более 0,5 мм), повышении прочности обрабатываемых углеродных заготовок до 30 %.

Технический результат достигается за счет того, что в композиции углеродной заготовки для получения высокоплотной SiC/C/Si керамики, в состав которой входят углерод и органическое связующее, в качестве углерода используется измельченный искусственный графит плотностью от 1,7 до 1,85 г/см³ размером частиц не более 50 мкм, взятый в количестве 85 мас.%, в качестве органического связующего используется фенольная смола с добавлением фуллереновой сажи в количестве 0,1..1 мас.% от массы связующего.

Введение в полимерное связующее фуллереновой сажи в количестве 0,1..1 мас.% позволяет увеличить прочность соединения частиц углеродного наполнителя за счёт упорядочивающего воздействия фуллерена на макромолекулы полимерного связующего. Это в свою очередь дает возможность формировать низкоплотные (0,95...1,0 г/см³)

пористые углеродные заготовки с использованием порошков углеродного наполнителя размером менее 50 мкм, без снижения их механической прочности.

При механической обработке у такой углеродной заготовки снижено выкрашивание и осыпание краев, кромок, гребней, что позволяет уменьшить возможный минимальный размер элемента изготавливаемой формы до 0,5 мм, в сравнении с углеродной заготовкой, полученной без использования фуллереновой сажи в качестве модификатора полимерного связующего. Это способствует получению изделий более сложных форм по сравнению со стандартными формами в виде колец, трубок, тиглей, и/или увеличить процент годного при выпуске широкой номенклатуры изделий из силицированного графита.

Изменение состава композиции по предлагаемому изобретению позволяет проводить прессование углеродных заготовок при уменьшенном давлении (75 кг/см^2) со связующим, в которое добавлено 0,1...1 мас.% фуллереновой сажи, что позволяет получить минимальные усадки материала после карбонизации и силицирования.

Перечень фигур

Фиг.1. Фотографии микроструктур: а) углеродной заготовки из композиции прототипа без фуллереновой сажи, б) углеродной заготовки из композиции по изобретению с содержанием фуллереновой сажи 0,8 мас.% связующего; в) изображение структуры SiC/C/Si керамики по прототипу, г) изображение структуры SiC/C/Si керамики по изобретению.

Фиг.2. а) Углеродные заготовки изделий с формой, полученной на станке с ЧПУ, с массивом отверстий диаметром 2 мм (гладкими и резьбовыми), размер фасок не превышает 0,5 мм, б) данные заготовки после силицирования; в) изделия из заготовок после травления излишков кремния и легкой шлифовки поверхности.

Фиг.3. Опорный подшипник из SiC/C/Si керамики, изготовленный по предлагаемому изобретению – фотографии двух видов (а, б).

Осуществление изобретения

Пример. Изготовление секторов составного станда.

В соответствии с предложенным изобретением изготовлены образцы карбидокремниевой керамики в форме секторов диаметром 60 мм и высотой 12 мм с проточками и массивом отверстий (диаметром 2 мм) на основе композиций с различным содержанием фуллереновой сажи.

Углеродные порошки получали путем помола болванок графита марки ЭГ, плотность которого лежит в пределах $1,7..1,85 \text{ г/см}^3$ с последующим разделением полученного мультифракционного порошка на узкие фракции с использованием вибросита. Средняя плотность графита в порошке составила $1,73 \text{ г/см}^3$. В качестве полимерного связующего применялась фенольная смола, допированная фуллереновой сажой производства ООО «НПК «НеоТекПродакт» (г. Санкт-Петербург), с содержанием C60 не менее 7%. В 3D смесителе с керамическими сферическими активаторами перемешивания (удалялись из смеси перед прессованием заготовок) смола и фуллереновая сажа в количестве 0,1 и 1 мас.% перемешивались в течение 3 часов, после чего добавлялся углеродный наполнитель и перемешивание продолжалось в течение 2 часов.

Промежуточные заготовки получали прессованием массы на гидравлическом прессе в глухую пресс-форму диаметром 65 мм при давлении 75 кг/см^2 . Затем производили коксующий обжиг (пиролиз связующего) прессовок в защитной атмосфере до температуры 900°C , общая продолжительность обжига составила 9 часов. Относительное уменьшение объема заготовок (усадка) после пиролиза составили 2,4%

и 1,2% для количества фуллереновой сажи от 0,1 мас.% до 1 мас.% соответственно. При увеличении количества вводимой фуллереновой сажи снижалась плотность

пиролизированных заготовок от 0,98 до 0,93 г/см³ (Табл.1). Из части углеродных заготовок каждого типа изготавливали образцы для микроскопии и для испытаний с целью определения предела прочности на изгиб. Результаты измерений приведены в табл.2. На Фиг.1. показаны микроструктуры углеродных заготовок из композиции прототипа без фуллереновой сажи и с композицией по изобретению содержанием фуллереновой сажи 0,8 мас.% связующего, а также соответствующие им структуры SiC/C/Si керамики.

Из другой части углеродных заготовок каждого типа изготавливали заготовки секторов с массивом отверстий на станке с ЧПУ. На фиг.2 представлены: а) углеродные заготовки изделий с формой, полученной на станке с ЧПУ, с массивом отверстий диаметром 2 мм (гладкими и резьбовыми), размер фасок не превышает 0,5 мм, б) данные заготовки после силицирования; в) изделия из заготовок после травления излишков кремния и легкой шлифовки поверхности.

Для углеродных заготовок по прототипу изобретения с применением давления прессования 100 кг/см² при формировании кольцевых проточек, шириной 2 мм, материал точно выкрашивался, также возникали дефекты при засверливании отверстий в виде сколов, частично разрушался бортик кольцевой проточки.

Для заготовок с фуллереновой сажой выполнение проточек, отверстий диаметром 2 мм, а также фасок, размер которых не превышает 0,5 мм, не приводил к появлению каких-либо видимых разрушений (Фиг.2а).

Пропитку всех полученных углеродных заготовок с фуллереновой сажой расплавом кремния производили в высокотемпературной вакуумной печи с выдержкой при температуре 1650°C в течение 20 минут. Далее следовали охлаждение и разгрузка печи. В результате пропитки расплавом кремния углеродных заготовок получены изделия из керамики на основе карбида кремния SiC/C/Si плотностью до 3,06 г/см³ (Фиг.2 б, в). При повышении массовой доли фуллереновой сажи в композиции углеродных заготовок наблюдали пропорциональное увеличение прочности углеродной основы, что позволило повысить точность размеров углеродной заготовки после механической обработки, получить детали с более мелкими элементами формы без снижения физико-механических характеристик SiC материала в сравнении с материалом, полученным без допирования полимерного связующего фуллереновой сажой.

Таблица 1.

	Прототип	Предлагаемое изобретение	
Состав композиции, мас.%	Графит: 50 – 85, фенольная смола : 15	Графит: 50 – 85, фенольная смола с фуллереновой сажой: 15	
давление прессования, кг/см ²	100	75	
Количество фуллереновой сажи, мас.% связующего	-	0,1	1
$\rho_{\text{угл.}}$, г/см ³	0,91	0,98	0,93
$\rho_{\text{SiC.}}$, г/см ³	3,10	3,03	3,06
Усадка объемная, %	7,6	2,4	1,2
Фазовый состав керамики SiC – C – Si	92 – 0 – 8	88 – 9 – 3	90 – 7 – 3

Таблица 2.

	Предел прочности на изгиб углеродных заготовок, МПа	
	Прототип	Предлагаемое изобретение

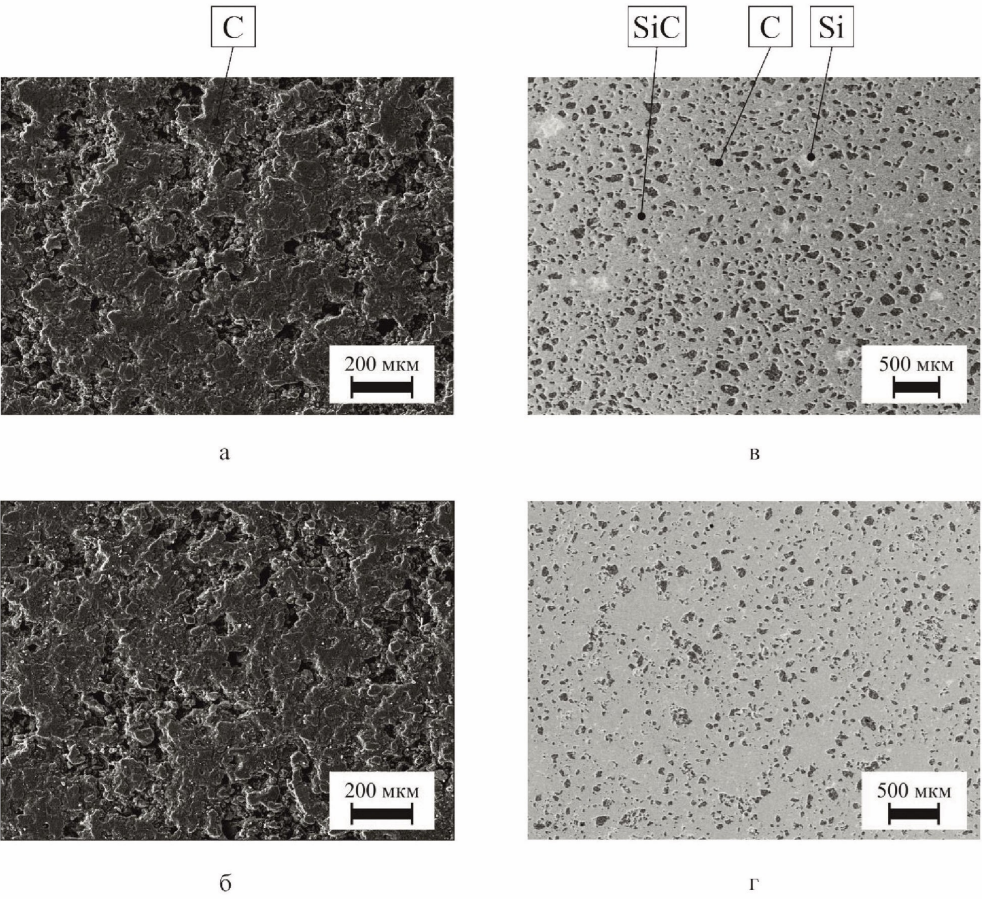
Количество фуллереновой сажи, мас. % связующего	-	0,1	1
1 группа образцов	5,41	5,42	6,68
2 группа образцов	4,7	5,30	6,89
3 группа образцов	4,95	5,70	6,11
Ср.знач.	5,02	5,48	6,56
Прирост, %	-	9,10	30,64

Введение в полимерное связующее фуллереновой сажи в количестве 0,1..1 мас. % позволяет формировать низкоплотные ($0,93...0,98 \text{ г/см}^3$) пористые углеродные заготовки без снижения их механической прочности, уменьшает объемные усадки и обеспечивает равномерность силицирования заготовки по всему объему. Это позволяет получать с применением композиции по изобретению достаточно крупные изделия сложной формы из SiC/C/Si керамики (фотографии видов такого изделия на Фиг.3 а, б).

(57) Формула изобретения

Композиция углеродной заготовки для получения высокоплотной SiC/C/Si керамики, в состав которой входят углерод и органическое связующее, в качестве углерода используют измельченный искусственный графит плотностью от 1,7 до $1,85 \text{ г/см}^3$ размером частиц не более 50 мкм в количестве 85 мас. %, остальное - органическое связующее, отличающаяся тем, что содержит в качестве органического связующего фенольную смолу с добавлением фуллереновой сажи в количестве 0,1-1 мас. % от массы связующего.

1



Фиг.1

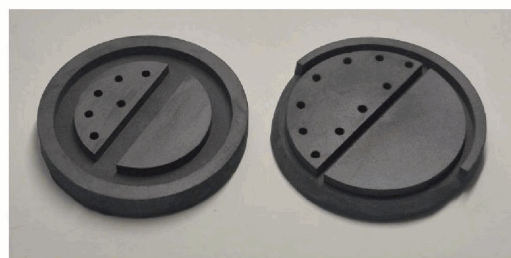
2



а



б



в

Фиг. 2.



а



б

Фиг 3