

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24604**

(13) **С1**

(45) **2025.05.20**

(51) МПК

**B 22F 9/04** (2006.01)

**B 24D 3/34** (2006.01)

**C 09K 3/14** (2006.01)

## (54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА

(21) Номер заявки: а 20240139

(22) 2024.06.11

(71) Заявитель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(72) Авторы: Жорник Виктор Иванович; Сеньюк Владимир Тадеушевич; Ковалева Светлана Анатольевна; Валькович Игорь Владимирович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(56) ВУ 23541 С1, 2021.  
ВУ 23938 С1, 2023.  
ВУ 24056 С1, 2023.  
ЕА 032945 В1, 2019.  
СN 110355699 А, 2019.

(57)

Способ получения металломатричного абразивного материала с гранулометрическим составом 1-150 мкм, включающий составление шихты из магнитного порошка с гранулометрическим составом 0,5-400,0 мкм и абразивного порошка, ее смешивание, прессование, спекание и измельчение, которые проводят в механореакторе с энергонапряженностью 1-7 Вт/г, **отличающийся** тем, что в качестве абразивного порошка используют порошок кубического нитрида бора с размером зерен 0,1-315,0 мкм и содержанием примесей 1-10 мас. %, с покрытием на основе железа, нанесенным путем отжига порошка кубического нитрида бора с порошком железа, взятым в количестве 1-10 мас. % от массы порошка кубического нитрида бора, в защитной атмосфере паров галогенидов железа при температуре 800-950 °С в течение 1-3 ч, а обработку шихты в механореакторе осуществляют в течение 5-10 мин.

Изобретение относится к получению металломатричных абразивных материалов, в частности композиционных магнитно-абразивных порошков (КМАП), используемых в процессах магнитно-абразивной обработки (МАО) изделий машиностроения, атомной техники, оптики, микроэлектроники и др.

Одним из основных методов получения материала для МАО является спекание порошков абразива и железа [1]. К недостаткам способа можно отнести сложность и трудоемкость технологического процесса получения материала (необходимость прессования заготовок, их термической обработки и диспергирования).

Разновидностью метода является метод псевдоплавления, который заключается в термообработке смесей порошков железа и абразива, образовании сплава и его измельчении на фракции [2]. Способу присущи недостатки, характерные для процесса высокотемпературного спекания.

ВУ 24604 С1 2025.05.20

Известно, что в качестве абразивного материала при изготовлении КМАП используется алмаз, который благодаря своей высокой твердости, износостойкости и теплопроводности обеспечивает высокую надежность, долговечность и повышенный ресурс работы абразивного инструмента [3].

Однако микро- и шлифпорошки синтетического алмаза, как правило используемые для получения КМАП, не устойчивы при нагреве при температурах свыше 800 °С, и их спекание с железом без приложения давления вне защитной атмосферы приводит к окислению алмаза и его графитизации. Спекание алмазосодержащих материалов необходимо осуществлять в специальных условиях защитной атмосферы, при высоких давлениях, либо в условиях вакуума, что усложняет и удорожает технологию получения КМАП [3].

Известно, что кубический нитрид бора (КНБ) является вторым по твердости материалом после алмаза. Он превосходит алмаз по термостойкости, обладает более высокой химической стойкостью в агрессивных средах, сравнимым с алмазом коэффициентом термического расширения и высокими абразивными свойствами [4].

К прогрессивным методам создания КМАП относится метод механосплавления (метод механической активации) [5], который является наиболее распространенным способом получения неравновесных фаз в металлических системах, что позволяет успешно применять его для создания матричных композитов, содержащих неметаллические включения в металлической матрице. Механическое сплавление осуществляют в специальных устройствах - атриторах, планетарных мельницах, дезинтеграторах и т. д.

Известен способ получения КМАП методом механосплавления, в котором в качестве абразива используются порошки синтетического алмаза [6]. Однако синтетический алмаз имеет достаточно низкий порог графитизации, что не позволяет получать КМАП с требуемыми техническими параметрами.

Повышение параметров механосплавления (энергонапряженности) с целью улучшения взаимодействия матрицы и алмаза будет приводить к графитизации алмаза. В результате снизится режущая способность КМАП, ухудшится качество обработанных поверхностей и снизятся сроки эксплуатации КМАП.

Наиболее близким техническим решением является способ получения порошка для магнитно-абразивной обработки методом механосплавления, который включает в себя составление шихты из магнитного порошка и абразивного порошка на основе порошков железа и алмаза соответственно, ее смешивание, прессование, спекание и измельчение, которые проводят одновременно при обработке шихты в механореакторе [7].

В данном способе в качестве абразивной компоненты используются импактные алмазы Попигайского месторождения (Россия), обладающие высокой термостойкостью, на 200-250 °С превосходящей термостойкость микро- и нанопорошков синтетических и природных технических алмазов.

Однако, несмотря на более высокую термостойкость по сравнению с указанными видами технических алмазов, порошки импактного алмаза уступают по термостойкости большинству тугоплавких абразивных материалов, широко используемых в инструментальном производстве, в том числе кубическому нитриду бора. При этом измельчение импактного алмаза в процессе механосплавления сопровождается образованием структурных дефектов, что дополнительно снижает температуру графитизации алмаза и ухудшает эксплуатационные характеристики КМАП.

При МАО материалов на основе металлов VIII-й группы (Fe, Ni, Co) (закаленные стали, чугуны, жаропрочные никельсодержащие покрытия и др.) достижение высокого качества обработанной поверхности сопровождается повышением температуры в рабочей зоне, что вызывает частичную графитизацию алмаза. Как следствие, ухудшаются (абразивные свойства алмаза и снижается адгезия алмазных абразивных частиц к матрице КМАП, что приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик КМАП).

При этом, несмотря на значительные запасы алмазного сырья Попигайского месторождения, содержащего, по оценкам, до 1000 трн. каратов алмазов, импактный алмаз сегодня в технике не используется ввиду отсутствия его промышленной добычи. Прогнозная стоимость импактного алмаза составит 1-2 долл. за карат, что на порядок выше рыночной стоимости технических алмазов и кубического нитрида бора.

Задачей изобретения является создание способа, который позволяет достичь высокого качества обработанной поверхности, а также повысить производительность MAO и ресурс работы КМАП, увеличить производительность процесса получения КМАП.

Техническими результатами изобретения являются создание КМАП повышенной износостойкости за счет более высокой термостойкости и химической инертности абразивной составляющей КМАП, что позволяет повысить эксплуатационные характеристики процесса MAO (скорость съема обрабатываемого материала и ресурс работы КМАП).

Указанная задача решается в способе получения металлматричного абразивного материала с гранулометрическим составом 1-150 мкм, включающем составление шихты из магнитного порошка с гранулометрическим составом 0,5-400,0 мкм и абразивного порошка, ее смешивание, прессование, спекание и измельчение, которые проводят в механореакторе с энергонапряженностью 1-7 Вт/г, в котором, согласно изобретению, в качестве абразивного порошка используют порошок кубического нитрида бора с размером зерен 0,1-315,0 мкм и с содержанием примесей 1-10 мас. %, с покрытием на основе железа, нанесенным путем отжига порошка кубического нитрида бора, в защитной атмосфере паров галогенидов железа при температуре 800-950 °С в течение 1-3 ч, а обработку шихты в механореакторе осуществляют в течение 5-10 мин.

Использование зерен КНБ размером менее 0,1 мкм удорожает производство КМАП из-за высокой стоимости зерен наноКНБ. Применение зерен с размером  $d_{\text{КНБ}}$  до 0,1 мкм также ухудшает эксплуатационные характеристики (скорость съема материала, режущую способность) КМАП.

Использование зерен КНБ размером более 315,0 мкм удорожает производство КМАП из-за более высокой стоимости крупных фракций КНБ.

Также при использовании зерен КНБ размером более 315,0 мкм при механоактивации образуются абразивные частицы с размером  $d_{\text{КНБ}} > 50$  мкм, что приводит к повышенному износу технологической оснастки и чрезмерному загрязнению готового продукта.

Следует также отметить, что КНБ обладает меньшей хрупкостью по сравнению с алмазом [4], поэтому зерна КНБ дробятся на более крупные абразивные частицы при тех же параметрах механоактивации шихты. Это объясняет более низкую дисперсность используемых порошков КНБ по сравнению с прототипом [7].

Применение КНБ с массовой долей примесей в виде графитоподобного нитрида бора (hBN), борного ангидрида ( $B_2O_3$ ), катализатора (инициирующей добавки) и продуктов взаимодействия катализатора и BN менее 1 мас. % удорожает производство КМАП из-за более высокой стоимости КМАП вследствие возрастания затрат на операцию по очистке зерен КНБ от примесей, а также не приводит к улучшению качества обработанной поверхности.

Использование КНБ с массовой долей примесей в виде графитоподобного нитрида бора (hBN), борного ангидрида ( $B_2O_3$ ), катализатора (инициирующей добавки) и продуктов взаимодействия катализатора и BN более 10 мас. % ухудшает эксплуатационные характеристики (скорость съема материала снижается из-за ухудшения режущей способности КМАП), ухудшается адгезия зерна КНБ с матрицей.

Покрытие порошка КНБ железом приводит к повышению адгезионного удержания зерен абразива к металлической матрице КМАП и позволяет увеличить производительность процесса получения КМАП за счет снижения времени активации шихты в механореакторе. Также повышение адгезионного удержания зерен абразива позволяет повысить экс-

плутационные характеристики процесса МАО (скорость съема обрабатываемого материала и ресурс работы КМАП).

Отжиг порошка кубического нитрида бора в защитной атмосфере в парах галогенидов железа в температурном диапазоне менее 800 °С и времени выдержки менее 1,0 ч недостаточен для формирования покрытия на основе Fe, необходимого для повышения адгезии частиц КНБ к металлической матрице КМАП.

Отжиг порошка кубического нитрида бора в температурном диапазоне более 950 °С и времени выдержки более 3,0 ч не приводит к улучшению качественных показателей покрытия на основе Fe на порошке КНБ и не оказывает влияния на повышение адгезии частиц абразива к металлической матрице.

Активация шихты в механореакторе с энергонапряженностью 1-7 Вт/г в течение 5-10 мин достаточна для получения КМАП. При энергонапряженности менее 1 Вт/г и времени менее 5 мин не достигаются требуемые характеристики КМАП, происходит выкрашивание абразива, снижается ресурс работы КМАП.

При энергонапряженности более 7 Вт/г и времени более 10 мин эффект от повышения параметров изготовления КМАП отсутствует.

Сущность изобретения иллюстрируется следующими примерами.

### **Пример 1.**

Осуществлено изготовление металломатричного абразивного материала с размером композиционных частиц в диапазоне  $D_k = 5-50$  мкм и размером абразивных включений  $d_{КНБ} = 0,5-1,0$  мкм.

Перед обработкой шихты в механореакторе на порошок кубического нитрида бора наносили покрытие на основе железа путем отжига порошка кубического нитрида бора в защитной атмосфере в парах галогенидов железа, для чего готовили шихту на основе абразивного компонента - 20 г порошка КНБ с размером зерен 63-100 мкм, с массовой долей примесей в абразивном компоненте 1 мас. % и 1 г (5 мас. %) порошка железа ПЖР2.200.26 ГОСТ 9849-86 с размером частиц Fe = 160-200 мкм, тщательно перемешивали в смесителе лабораторном двухроторном ЗЛ-100-02 (собственного изготовления, инв. № 132455) до получения гомогенной смеси в течение 1 ч. Затем шихту помещали в герметичный контейнер и осуществляли отжиг порошка кубического нитрида бора - нагревали контейнер с шихтой до температуры 900 °С в атмосфере паров галогенов железа в течение 2 ч. Далее провели отделение порошка КНБ с покрытием на основе Fe от остатков порошка железа в соответствии с ГОСТ 18318-94. После чего взяли 5 г порошка КНБ с покрытием на основе Fe (массовая доля абразивного компонента в шихте 14,3 мас. %), 30 г порошка железа ПЖР2.200.26 с размером частиц Fe = 160-200 мкм, загрузили в барабан механореактора дифференциальной планетарной мельницы "Активатор 2S" [8] объемом 250 мл вместе с размольными стальными шарами диаметром 10 мм общей массой 370 г. Затем в механореакторе проводили ее одновременное смешивание, прессование, спекание и измельчение при значении энергонапряженности  $I = 5$  Вт/г и длительности  $t_a = 10$  мин с получением на выходе порошка металломатричного абразивного материала. Полученный порошок рассеивали на фракции в соответствии с ГОСТ 18318-94 (№ 1, табл.1).

### **Пример 2.**

Осуществлено изготовление металломатричного абразивного материала с размером композиционных частиц в диапазоне  $D_k = 1-10$  мкм и размером абразивных включений  $d_{КНБ} = 0,1-0,25$  мкм. Перед обработкой шихты в механореакторе на порошок кубического нитрида бора наносили покрытие на основе железа путем отжига порошка кубического нитрида бора в защитной атмосфере в парах галогенидов железа, для чего готовили шихту на основе абразивного компонента - 20 г порошка КНБ с размером зерен менее 1 мм, массовой долей примесей в абразивном компоненте 10 мас. % и 1 г (5 мас. %) порошка железа ПЖР2.200.26 ГОСТ 9849-86 с размером частиц Fe = 63-100 мкм, тщательно перемешивали в смесителе лабораторном двухроторном ЗЛ-100-02 (собственного изго-

товления, инв. № 132455) до получения гомогенной смеси в течение 1 ч. Затем шихту помещали в герметичный контейнер и осуществляли отжиг порошка кубического нитрида бора - нагревали контейнер с шихтой до температуры 800 °С в атмосфере паров галогенов железа в течение 2 ч. Далее провели отделение порошка КНБ с покрытием на основе Fe от остатков порошка железа в соответствии с ГОСТ 18318-94. После чего взяли 5 г порошка КНБ с покрытием на основе Fe (массовая доля абразивного компонента в шихте 14,3 мас. %), 30 г порошка железа ПЖР2.200.26 с размером частиц Fe = 63-100 мкм, загрузили в барабан механореактора дифференциальной планетарной мельницы "Активатор 2S" [8] объемом 250 мл вместе с размольными стальными шарами диаметром 10 мм общей массой 370 г. Затем в механореакторе проводили ее одновременное смешивание, прессование, спекание и измельчение при значении энергонапряженности  $I = 7$  Вт/г и длительности  $t_a = 10$  мин с получением на выходе порошка металломатричного абразивного материала. Полученный порошок рассеивали на фракции в соответствии с ГОСТ 18318-94 (№ 3, табл. 1).

### Пример 3.

Осуществлено изготовление металломатричного абразивного материала с размером композиционных частиц в диапазоне  $D_k = 100-150$  мкм и размером абразивных включений  $d_{КНБ} = 5-25$  мкм. Перед обработкой шихты в механореакторе на порошок кубического нитрида бора наносили покрытие на основе железа путем отжига порошка кубического нитрида бора в защитной атмосфере в парах галогенидов железа, для чего готовили шихту на основе абразивного компонента - 20 г порошка КНБ с размером зерен 250-315 мкм, массовой долей примесей в абразивном компоненте 1 мас. % и 2 г (10 мас. %) порошка железа ПЖР2.200.26 ГОСТ 9849-86 с размером частиц Fe = 160-200 мкм, тщательно перемешивали в смесителе лабораторном двухроторном ЗЛ-100-02 (собственного изготовления, инв. № 132455) до получения гомогенной смеси в течение 1 ч. Затем шихту помещали в герметичный контейнер и осуществляли отжиг порошка кубического нитрида бора - нагревали контейнер с шихтой до температуры 950 °С в атмосфере паров галогенов железа в течение 3 ч. Далее провели отделение порошка КНБ с покрытием на основе Fe от остатков порошка железа в соответствии с ГОСТ 18318-94. После чего взяли 5 г порошка КНБ с покрытием на основе Fe (массовая доля абразивного компонента в шихте 14,3 мас. %), 30 г порошка железа ПЖР2.200.26 с размером частиц Fe = 160-200 мкм, загрузили в барабан механореактора дифференциальной планетарной мельницы "Активатор 2S" [8] объемом 250 мл вместе с размольными стальными шарами диаметром 10 мм общей массой 370 г. Затем в механореакторе проводили ее одновременное смешивание, прессование, спекание и измельчение при значении энергонапряженности  $I = 3$  Вт/г и длительности  $t_a = 10$  мин с получением на выходе порошка металломатричного абразивного материала. Полученный порошок рассеивали на фракции в соответствии с ГОСТ 18318-94.

### Пример 4.

Осуществлено изготовление металломатричного абразивного материала с размером композиционных частиц в диапазоне  $D_k = 5-50$  мкм и размером абразивных включений  $d_{КНБ} = 0,5-5,0$  мкм. Перед обработкой шихты в механореакторе на порошок кубического нитрида бора наносили покрытие на основе железа путем отжига порошка кубического нитрида бора в защитной атмосфере в парах галогенидов железа, для чего готовили шихту на основе абразивного компонента - 20 г порошка КНБ с размером зерен 40-63 мкм с массовой долей примесей в абразивном компоненте 1 мас. % и 1 г (5 мас. %) порошка железа ПЖР2.200.26 ГОСТ 9849-86 с размером частиц Fe = 160-200 мкм, тщательно перемешивали в смесителе лабораторном двухроторном ЗЛ-100-02 (собственного изготовления, инв. № 132455) до получения гомогенной смеси в течение 1 ч. Затем шихту помещали в герметичный контейнер и осуществляли отжиг порошка кубического нитрида бора - нагревали контейнер с шихтой до температуры 900 °С в атмосфере паров галогенов железа в течение 2 ч. Далее провели отделение порошка КНБ с покрытием на основе Fe от остатков порош-

ка железа в соответствии с ГОСТ 18318-94. После чего взяли 5 г порошка КНБ с покрытием на основе Fe (массовая доля абразивного компонента в шихте 14,3 мас. %), 30 г порошка железа ПЖР2.200.26 с размером частиц Fe = 160-200 мкм, загрузили в барабан механореактора дифференциальной планетарной мельницы "Активатор 2S" [8] объемом 250 мл вместе с размольными стальными шарами диаметром 10 мм общей массой 370 г. Затем в механореакторе проводили ее одновременное смешивание, прессование, спекание и измельчение при значении энергонапряженности  $I = 3$  Вт/г и длительности  $t_a = 5$  мин с получением на выходе порошка металломатричного абразивного материала. Полученный порошок рассеивали на фракции в соответствии с ГОСТ 18318-94.

Сравнение показателей эксплуатационных характеристик металломатричного абразивного материала с применением кубического нитрида бора, изготовленного по предлагаемому способу и способу-прототипу [7], осуществлялось по результатам анализа данных, полученных при MAO заготовок из циркониевых сплавов с исходной шероховатостью поверхности  $Ra = 0,15...0,25$  мкм, а для обработки деталей из оптического стекла BK10 с исходной шероховатостью поверхности  $Ra = 0,11$  мкм.

MAO выполнялась по режимам, указанным в способе-прототипе [7].

Обработку заготовок из циркониевых сплавов проводили при следующих условиях: магнитная индукция в рабочем зазоре - 0,5 Тл, скорость вращения детали - 0,5 м/с, скорость осияции магнитной системы - 0,2 м/с, продолжительность обработки - 5 мин.

В качестве абразивного компонента КМАП, изготовленного по способу-прототипу, использовался наноструктурированный порошок импактных алмазов с удельной поверхностью  $1,5$  м<sup>2</sup>/г, размером зерен 63-100 мкм и содержанием примесей в виде несгораемого остатка 1,0 мас. %, содержащий лонсдейлит в количестве 25 об. %, алмаз в количестве 70 об. % и неалмазный углерод в количестве 5 об. % (№ 2, табл. 1).

При обработке заготовок оптических деталей из стекла BK10 использовали следующие условия: магнитная индукция в рабочем зазоре - 0,6 Тл, скорость вращения детали - 1,0 м/с, скорость вращения магнитной системы - 2,0 м/с, продолжительность обработки - 5 мин.

В качестве абразивного компонента КМАП, изготовленного по способу-прототипу, использовался наноструктурированный порошок импактных алмазов с удельной поверхностью  $1,5$  м<sup>2</sup>/г, размером зерен 20-28 мкм и содержанием примесей в виде несгораемого остатка 5,0 мас. %, содержащий лонсдейлит в количестве 25 об. %, алмаз в количестве 70 об. % и неалмазный углерод в количестве 5 об. % (№ 4, табл.1).

Критерием качества порошка для MAO служили следующие показатели: шероховатость обработанной поверхности  $Ra$  (мкм); удельный съем обрабатываемой поверхности (мг/мин); ресурс работы КМАП - стойкость композиционных частиц, определяемая продолжительностью обработки (мин), в течение которой не происходит резкого ухудшения эксплуатационных характеристик (режущей способности и шероховатости обработанной поверхности).

В таблице приведены результаты испытаний эксплуатационных свойств металломатричного абразивного материала и порошка для магнитно-абразивной обработки, полученного по способу-прототипу [7].

Таким образом, предлагаемый способ получения металломатричного абразивного материала с применением кубического нитрида бора позволяет обеспечить высокие эксплуатационные свойства КМАП при обработке поверхностей изделий из труднообрабатываемых материалов.

Основные преимущества заявляемого способа получения металломатричного абразивного материала с применением кубического BN следующие:

- повышается скорость съема обрабатываемого материала;
- улучшается качество обработанной поверхности изделий;
- увеличивается стойкость КМАП в процессе эксплуатации.

## Показатели финишного полирования изделий с использованием различных КМАП

№ п/п	Характеристика КМАП1		Обрабатываемый материал	Удельный съём материала, мг/мин	Шероховатость обработанной поверхности Ra, мкм	Стойкость, мин
	Состав	Грануляция D <sub>к</sub> /d <sub>абр.</sub> , МКМ				
1	КМАП (Fe/КНБ)	D <sub>к</sub> = 5-50/ d <sub>КНБ</sub> = 0,5-1,0	циркониевый сплав	18	0,080	>45
2	Fe/импактный алмаз (по способу [7])	D <sub>к</sub> = 5-50/ d <sub>АЛА</sub> = 0,5-1,0	циркониевый сплав	15	0,090	> 30
3	КМАП (Fe/КНБ)	D <sub>к</sub> = 1-10/ d <sub>КНБ</sub> = 0, 1-0,25	оптическое стекло БК10	7	0,0035	>35
4	Fe/импактный алмаз (по способу [7])	D <sub>к</sub> = 1-10/ d <sub>АЛА</sub> = 0,2-0,5	оптическое стекло БК10	6	0,0040	>30

Источники информации:

1. BY 8085, 2006.
2. ПОЛИЩУК В.С. Интенсификация процессов получения карбидов, нитридов и композиционных материалов на их основе. Севастополь: "Вебер", 2003, 327 с.
3. ВИТЯЗЬ И.А. и др. Синтез и применение сверхтвёрдых материалов. Минск: Белорусская наука, 2005, 359 с.
4. ГОЛУБЕВ А.С. и др. Нитрид бора. Структура, свойства, получение. Киев: Наукдумка, 1987, 200 с.
5. ВИТЯЗЬ И.А. и др. Механосинтез композиционных порошков Fe/SiC для магнитно-абразивной обработки//Механика машин, механизмов и материалов, 2016, № 1, с. 52-57.
6. ЕА 032945В1, 2019.
7. BY 23541, 2021 (прототип).
8. Планетарная шаровая мельница "Активатор-28". Найдено на [<http://www.activator.ru/Ac2S.html>] [найдено 2020.02.21].