



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120296** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
B24D 18/00
B01J 3/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 04824	(72) Винахідник(и): Шульженко Олександр Олександрович (UA), Яворська Луціна (PL), Соколов Олександр Миколайович (UA), Гаргін Владіслав Герасимович (UA), Закора Анатолій Петрович (UA), Супрун Михайло Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.05.2017	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ. В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074 (UA), ІНСТИТУТ ЗАВАНОСОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВІТВАЖАНЯ, ul. Wroclawska, 37-a, 30-011 Kraków, Polska (PL), Шульженко Олександр Олександрович, вул. Платона Майбороди, 21, кв. 86, м. Київ, 04050 (UA), Яворська Луціна, ul. Jontkowa Górka, 23/2, 30-224 Kraków, Polska (PL), Соколов Олександр Миколайович, пр. Г. Гонгадзе, 9-а, кв. 126, м. Київ, 04208 (UA), Гаргін Владіслав Герасимович, пр. Корнійчука, 39-а, кв. 216, м. Київ, 04209 (UA), Закора Анатолій Петрович, вул. Наталії Ужвій, 10, кв. 146, м. Київ-108, 04108 (UA), Супрун Михайло Вікторович, вул. Мате Залки, 6-б, кв. 155, м. Київ-211, 04211 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.10.2017	(74) Представник: Клименко С.А.
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2017, Бюл.№ 20	

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО НАДТВЕРДОГО АЛМАЗНОГО ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ**(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення надтвердого алмазного полікристалічного композиційного матеріалу послідовне виготовлення шихти, що містить алмазну масу, яка складається з мікропорошку і/або шліфпорошку природного і/або синтетичного алмазу, та спікання її з активуючою процес спікання добавкою при високому тиску з витримкою при високій температурі. При виготовленні шихти додатково вводять нановуглецевий матеріал в кількості 0,01-0,3 % від маси алмазних порошків.

UA 120296 U

Корисна модель стосується одержання надтвердого матеріалу з високими фізико-механічними властивостями в умовах високих тиску та температури, а саме композиційного матеріалу на основі порошків алмазу з добавками, який може бути використаний для оснащення вигладжувального, різального, правлячого, бурового і т. п. інструментів.

Умови роботи породоруйнівного інструменту характеризуються високими механічними і тепловими навантаженнями, можуть супроводжуватися низькими (до -162 °С) або високими (до 1000 °С) температурами [Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. Учебное пособие. - К.: Университетская книга. Логос, 2009. - 488 с.], наявністю агресивних середовищ, присутністю в зоні контакту робочих поверхонь абразивних частинок або безпосереднім контактом з високотвердими гірськими породами і ґрунтами.

При бурінні гірських порід спостерігається широке розмаїття робочих температур, середовищ, характеру і рівня навантажень на інструмент. Так, вплив високих статичних і динамічних навантажень на його робочий елемент може супроводжуватися низькими (до -162 °С) або високими (до 1000 °С) температурами і хімічно активними або наводнювальними середовищами [Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. Учебное пособие. - К.: Университетская книга. Логос, 2009. - 488 с.]. Таке поєднання зовнішніх впливів визначає специфіку роботи бурового інструменту, висуваючи в ряд першочергових завдань забезпечення не тільки його надійності, а й довговічності за рахунок підвищення стійкості до дії різноманітних навантажень, що ведуть до його зношування. Крім цього, відомо, що спуско-підйомні операції є найбільш трудомісткими роботами при бурінні - витрати часу на зазначену операцію збільшуються майже в кубічній залежності від глибини свердловини, тобто продуктивність буріння в значній мірі залежить від стійкості використовуваного породоруйнівного інструменту і механічної швидкості буріння, які, в свою чергу, суттєво залежать від зносостійкості робочих елементів.

Основною причиною зношування інструменту при правці шліфувального круга є температурний коефіцієнт, обумовлений величиною і часом дії температури в контакті правлячий інструмент - абразивне зерно круга. Як відомо [Киселев Е. С. Теплофизика правки шлифовальных кругов с применением СОЖ. Ульяновск: УлГТУ, 2001. - 171 с.], при правці шліфувальних кругів температура в зоні контакту правлячого інструменту з кругом може досягати 1500 °С, що негативно позначається на зносостійкості правлячого інструменту.

Вигладжування є одним з методів зміцнюючої обробки поверхневим пластичним деформуванням. При обробці металів вигладжуванням з високим фрикційно-силовим і швидкісним навантаженням поверхневого шару через перегрів в осередку деформації матеріалу заготовки та інструменту відбувається пошкодження поверхні і підвищений знос інструменту, тобто, як і в випадку використання правлячого інструменту, при вигладжуванні робоча поверхня вигладжувального наконечника піддається інтенсивному стиранню і впливу температурного фактора. Сили, що виникають в процесі вигладжування, створюють високий контактний тиск на його робочу поверхню. У зв'язку з цим матеріал вигладжувача повинен мати велику твердість, зносостійкість, високу межу міцності на стискання, низький коефіцієнт тертя по металу. Створення найбільш міцного матеріалу дозволить ще більше збільшити силу притискання інструмента до деталі, що обробляють без зниження стійкості і тим самим розширити можливість застосування інструментів цієї конструкції для обробки деталей з більш високими механічними характеристиками і зменшить шорсткість (наприклад при вигладжуванні титану і його сплавів).

Завдяки унікальності властивостей (твердість, висока теплопровідність і низький коефіцієнт тертя) алмазу інструмент, оснащений робочими елементами з композиційного матеріалу на основі порошків алмазу з добавками, активно впроваджується в багато галузей. Такий інструмент в десятки разів перевищує по стійкості аналогічний сталевий, металокерамічний та твердосплавний інструмент [Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т. - Т. 3. Применение синтетических сверхтвердых материалов / Редкол.: Н. В. Новиков (отв. Ред.) и др. - К.: Наук, думка, 1986. - 280 с.]

Однією з основних проблем, які необхідно вирішувати при спіканні композиційного матеріалу на основі порошків алмазу з добавками, призначеного для оснащення вигладжувального, різального, правлячого, бурового і т. п. інструментів, є підвищення його зносостійкості, на величину якої, в свою чергу, найбільший вплив з фізико-механічних властивостей має твердість матеріалу. Співвідношення між зносостійкістю та твердістю визначається по формулі:

$$S = (HV)^{1/2} K_{1C}^{3/4},$$

де S - параметр зносостійкості; HV - твердість матеріалу; K_{1C} - тріщиностійкість [Майстренко А. Л., Дуб С. Н. Прогнозирование износостойкости хрупких материалов по твердости и трещиностойкости // Заводская лаборатория. - 1991. - 57. - № 2. - С. 52-54].

Відомо, що високий рівень фізико-механічних властивостей полікристалу визначається наявністю неперервного каркасу алмазних частинок за рахунок формування зв'язків алмаз-алмаз та утворення щільної високодисперсної зеренної структури. Основна роль у формуванні зв'язку алмаз-алмаз належить пластичній деформації алмазних частинок. Встановлено, що для їх ефективної консолідації шляхом пластичної деформації необхідна наявність високих тисків і температур, які відповідають термодинамічній стабільності алмазу [Поликристаллические материалы на основе алмаза / Шульженко А.А., Гаргин В.Г., Шишкин В.А., Бочечка А.А.; Отв. ред. Новиков Н.В.; АН СССР. Ин-т сверхтвердых материалов. - К.: Наук. думка, 1989. - 192 с]. При цьому формування міжалмазних границь визначається, головним чином, розвитком масопереносу в місцях взаємного мікроіндентування зерен. Для забезпечення більш міцних міжзеренних границь в полікристалі в шихту для спікання можна вводити добавки вуглецевих матеріалів.

При виготовленні зносостійкого надтвердого матеріалу на основі порошків алмазу необхідно враховувати також наступний важливий факт. Температура початку пластичної деформації, зокрема, для мікропорошків алмазів складає 1230 К при тиску 7 ГПа, а в умовах спікання тиск в точках контакту алмазних зерен може досягати 130 ГПа. В той же час в порах між частинками алмазу тиск при спіканні значно нижчий, що є причиною утворення в них графіту або аморфного вуглецю [Поликристаллические материалы на основе алмаза / Шульженко А.А., Гаргин В.Г., Шишкин В.А., Бочечка А.А.; Отв. ред. Новиков Н.В.; АН СССР. Ин-т сверхтвердых материалов. - К.: Наук. думка, 1989. - 192 с.]. Для подолання цього небажаного ефекту необхідно використовувати активуючі процес спікання добавки.

Відомий спосіб отримання композиційного матеріалу на основі порошків природного і синтетичного алмазу [Патент України № 86321, МПК (2009) C01B 31/06, C22C 26/00, опубл. 10.04.2009], який включає приготування суміші з алмазних порошків і добавок, нагрівання цієї суміші при тиску не менше 5 ГПа до температури спікання і витримку при цій температурі, причому як добавки беруть суміш порошків синтетичного алмазу після термічної обробки з розміром зерен 20-100 мкм в кількості 5-20 мас. % від маси суміші і принаймні один з порошків металів групи заліза Fe, Co, Ni в кількості 3-8 мас. % від маси суміші, і додатково в зазначену добавку вводять карбіди і/або оксиди перехідних металів, а також кремній, бор, графіт або їх суміші в кількості 0,5-5,0 мас. % від маси суміші. Недоліком матеріалу, отриманого згідно з цим способом, є його недостатня міцність і низька термостабільність, а також той факт, що для його виготовлення використовуються матеріали групи заліза, що робить неможливим використання даного матеріалу при виготовленні наконечників для вигладжування, оскільки метали групи заліза адгезійно активні, при вигладжуванні вони взаємодіють з поверхнею оброблюваної деталі, на ній утворюються вириви і, відповідно, різко погіршується її шорсткість [Серебряков Ал. В., Слесарев А. И., Серебряков Ан. В. Адгезионное разрушение поверхностного слоя металла в контакте трения инструмент-металл. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2013. - № 3. - С. 14-19].

Найбільш близьким за технічною суттю до запропонованого способу є винахід на одержання надтвердого матеріалу [Patent Application Publication. Jan. 16, 2014 Sheet 7 °F 7 US 2014/0013672 A], який включає змішування графена та алмазного порошку з утворенням суміші з менш ніж 50 % по масі графена, а потім спікання порошкової суміші без добавок при тисках 4,5-7,5 ГПа, температурах 700-1400 °C впродовж 5 хвилин. Після спікання частина графена або весь графен переходить в алмаз і таким чином збільшує зчеплення алмазних частинок, що приводить до підвищення в'язкості руйнування та термостійкості.

Недоліком отриманого за прототипом матеріалу є його недостатня міцність, зносостійкість. Обумовлене це тим, що для спікання композиту використовується суміш алмазних порошків з не менш ніж 50 % по масі графена і більша частина його не переходить в алмаз. Такі залишки графену в композиті значно зменшують його міцність, зносостійкість. Ефективність використання матеріалу, одержаного згідно з прототипом, для оснащення вигладжувального, різального, правлячого, бурового і т. п. інструментів суттєво знижується із-за його недостатньої зносостійкості та міцності.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виготовлення надтвердого алмазного полікристалічного композиційного матеріалу, який включає послідовне виготовлення шихти, що містить алмазну масу, яка складається з мікропорошку і/або шліфпорошку природного і/або синтетичного алмазу, та спікання її з активуючою процес спікання добавкою, згідно з корисною моделлю, при формуванні матеріалу використовують масу алмазних порошків, в яку додатково вводять нановуглецевий матеріал (зокрема п-шаровий графен) в кількості 0,01-0,3 % від маси алмазних порошків, а як активуючу процес спікання добавку переважним є використання кремнію та його сплавів в кількості від 0,5 до 10 % від маси алмазних порошків.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються, та технічними результатами, які досягаються при її реалізації, полягає в наступному.

Спінання полікристалічних композиційних матеріалів здійснюється в апаратах високого тиску при p , Γ -умовах більш високих, ніж при синтезі алмазу, щоби забезпечити пластичну деформацію мікропорошків алмазу ($p > 7$ ГПа, $T \geq 1230$ К). А, оскільки, як зазначалося раніше, в порах між частками алмазу, де тиск при спіканні значно нижче, утворюється графіт, необхідно використання активуючих процес спікання добавок, наприклад кремнію та його сплавів, які, взаємодіючи з графітом, будуть утворювати карбід кремнію, що буде сприяти кращому ущільненню алмазного полікристалу. Фізико-механічні властивості одержаного полікристалу будуть залежати від співвідношення складових активуючої добавки.

Важливим етапом формування структури композиту є його ущільнення за рахунок стиснення порошку алмазу без температури (холодне ущільнення). Спочатку зі збільшенням тиску йде ущільнення порошку за рахунок взаємного ковзання зерен. При подальшому збільшенні тиску починається часткове дроблення зерен порошків. При цьому не всі зерна піддаються дробленню - руйнуються в першу чергу менш міцні. В результаті на етапі холодного ущільнення формується структура композиту, що складається з зерен алмазу, оточених дуже дрібними алмазними частинками (пудрою). Далі при підвищенні температури до її робочих значень при здійсненні безпосереднього контакту між алмазними частинками в результаті пластичної деформації відбувається зрощування зерен алмазу.

Таким чином, при такому способі спікання відбувається зміння розмірів і форм алмазних часток. В залежності від розміру пори будуть змінюватись і умови спікання на даній ділянці зразка. Внаслідок цього утворюється неоднорідна структура полікристалічного матеріалу і недостатньо високе значення фізико-механічних і експлуатаційних властивостей.

Цей недолік долається додатковим введенням в шихту добавки нановуглецевого матеріалу. При змішуванні мікропорошків алмазу з нановуглецевим матеріалом останній рівномірно наноситься на всю поверхню зерен алмазу, що дозволяє істотно поліпшити фізико-механічні властивості алмазного полікристалічного композиту, що спікається в умовах високого тиску і температури. Це стає можливим, по-перше, завдяки зменшенню тертя і заклинювання між алмазними частинками в процесі холодного ущільнення алмазного порошку при високому тиску за рахунок високих трибологічних характеристик нановуглецевого матеріалу, які, як відомо, проявляються не тільки при його нанесенні на плоскі, а й на розвинені поверхні [Хоменко А. В., Проданов Н. В., Хоменко Е. П., Трошенко Д. С. Трибологические свойства наноразмерных систем, содержащих углеродные поверхности // Журнал нано- та електронної фізики. - 2014. - 6. - № 1. - 01012(12сс)]. По-друге, при створенні високого тиску і температури в порах, заповнених нановуглецевим матеріалом і рідкою фазою (активуючою добавкою), тиск буде достатньо високим і графітизація алмазу в порах не буде відбуватися, що забезпечить зростання загальної міцності полікристалу.

Отриманий таким чином полікристалічний композиційний матеріал буде мати однорідну структуру, що забезпечить його високі фізико-механічні (зносостійкість, міцність, твердість) властивості.

Як вуглецевий наноматеріал можуть бути використані різні форми неалмазного вуглецю - нанографіт, нанографени та їх фрагменти з кількістю шарів не менше двох, аморфний вуглець, в тому числі, збагачений ізотопом C^{12} або C^{13} і т. п.

Методом атомно-силової мікроскопії показано, що частинки нанографіту мають латеральні розміри 200-300 нм, товщина частинок не перевищує 20-35 нм, що відповідає -40-75 графенових шарів в стопках (Ткачев С. В. Восстановленный оксид графена: получение, строение, свойства. Автореф. дисс. ... кандидата химических наук: 02.00.01 - неорганическая химия. - М.: ИОНХ РАН, 2012. - 25 с). Відомо, що у випадку наявності наночастинок, для яких вклад поверхневої енергії в термодинамічний потенціал значний, умови фазової рівноваги графіт-алмаз істотно відрізняються від передбачених прийнятою фазовою діаграмою стану вуглецю. Розрахунками підтверджуються припущення, згідно з якими при малих розмірах наночастинок саме алмаз, а не графіт є термодинамічно стабільною формою вуглецю [Фізико-химический анализ формирования наноструктурных инструментальных материалов на основе алмаза / П. А. Витязь, В. Т. Сенють, М. Л. Хейфец и др. http://elib.psu.by:8080/bitstream/yi23456789/14661/l/%D0%92%D0%B8%D1%82%D1%8F%D0%B7%D1%8C_2015_%D1%8146-50.pdf].

Також в роботі [див. Сорокін П. Б. Теоретические исследования физико-химических свойств низкоразмерных структур: автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. - М., 2014. - 324 с.] показано, що у разі використання п-шарових графенів в умовах високих тисків і температури вони виявляються нестійкими через занадто

велике відношення периметра до поверхні і відбувається кавітаційний перехід до іншої алотропної модифікації вуглецю (алмазу). При цьому графені переходить в алмаз при більш низьких тисках, порівняно зі звичайним графітом. Таким чином, наявність в шихті п-шарових графенів, буде забезпечувати ефективне створення зв'язків алмаз-алмаз в полікристалі.

Однак при використанні п-шарових графенів необхідно враховувати наступне. Як було експериментально доведено, двошаровий графен не тільки має найвищу стабільність з усіх графітових двошарових структур, але і є одним з найбільш стійких структур під впливом великих тисків [Few-layer graphene under high pressure: Raman and X-ray diffraction studies / S.M. Clark, Ki-Joon Jeon, Jing-Yin Chen, Choong-Shik Yoo // Solid State Communications. -2013. - 154. - N 1. - P. 15-18] і температур до 3300 K [Галашев А. Е. Компьютерное моделирование нагрева пленок никеля на двухслойном графене // Физика твердого тела. - 2014. - 56. - № 5. - С. 1009-1014]. Вважаючи на це в якості добавки треба використовувати графені з кількістю шарів не менше двох.

Добавка в шихту аморфного вуглецю буде сприяти більш інтенсивному карбідотворенню (при використанні кремнію та його сплавів) в порах між частинками алмазу, і, відповідно, перешкоджати графітизації алмазу в порах. Крім цього експериментально встановлено, що збагачення шихти одним з ізотопів вуглецю сприяє збільшенню швидкості росту алмазної фази з утворення плоских дендритів [Влияние условий кристаллизации алмаза в системе карбид бора - углеродсодержащее вещество на содержание в нем примеси бора / А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, В. Г. Гаргин и др. // Восьмая международная конференция "Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технологии": Тезисы докладов. 25-28 сентября 2012 г., Московская обл., г. Троицк. - С. 458-462]. В цілому це буде сприяти міцності зв'язків алмаз-алмаз в полікристалі.

Приклад конкретної реалізації корисної моделі.

Для виготовлення зразків композиційного матеріалу на основі алмазу діаметром 3,5 мм і висотою 4 мм провели формування алмазної маси таким чином. З лускоподібного графіту пресували багатопозиційний тигель діаметром 18 мм, висотою 5 мм із циліндричними гніздами діаметром 4 мм.

В алмазний порошок додавали 0,2 мас. % нанографену. Як нанографен використовували продукт фірми Angstrom Materials, inc., США марки N 002-PDR (Nano Graphene Platelets) з кількістю шарів <3 і товщиною < 2 нм. Порошок такого графену має густину < 2,2 г/см³, поверхня 400-800 м²/г, вміст С (вуглець) 97,00 %, залишок водень, азот, кисень. Потім таку суміш додавали 2 % порошку кремнію і змішували. Крім цього експерименти проводили з використанням п-шарових графенів G_n (4) (кількість шарів < 4, товщина < 3 нм), G_n(8) (кількість шарів < 20-30, товщина 8 нм), G_n (12) (кількість шарів < 30-50, товщина 12 нм). Поряд з графенами як вуглецевий наноматеріал можна використовувати нанографіт, технічний вуглець (Carbon black), в тому числі збагачений одним з ізотопів вуглецю, кулясті фулерени, нанотрубки, нанобади (комбінація нанотрубки і фулерена), а також їх суміші в довільному співвідношенні між собою. Як активуючу добавку поряд з кремнієм і його сплавами можна використовувати залізо, нікель, кобальт та їх сплави.

Отриману суміш алмазних порошоків з графеном і кремнієм засипали в гнізда багатопозиційного тигля. Диск з лускоподібного графіту закривали гніздо тигля і розміщували їх у комірці високого тиску. Спінання виконували в апараті високого тиску типу "тороїд" з діаметром центрального заглиблення 30 мм при тиску 7,5 ГПа, температурі 1600 K та тривалості спікання 50 с.

Умови спікання залежать від кількості добавок в алмазних порошках, потрібних фізико-механічних характеристик спеченого композиційного матеріалу, апаратів високого тиску, що використовують, і складає: тиск 5-12,5 ГПа температура 1500-2400 K та час 10-300 с

В наведеному вище прикладі конкретної реалізації корисної моделі використовували в шихті суміш активуючої добавки (кремнію) з нановуглецевим матеріалом (п-шаровим графеном). Поряд з цим можливо використання і інших методів введення активуючої добавки в шихту для спікання алмазного полікристалічного композита, зокрема, методу просочення [Патент на корисну модель № 21897 Україна МПК C01B 31/06, C01B 31/04, C01B 33/025, C04B 35/52, C04B 35/573. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. - Опубл. 10.04.07, Бюл. № 4].

Після спікання зразки композиційного матеріалу звільняли від залишків матеріалу комірки високого тиску та піддавали хімічній обробці для очищення їхньої поверхні від залишків графіту.

Іспити на зносостійкість проводили на токарно-гвинторізному станку при точінні пісоквика IX категорії по буримості.

Результати випробувань наведені в таблиці.

Як видно з таблиці зносостійкість композиту залежить від типу вуглецевого наноматеріалу, який додається в суміш алмазних порошків. Зокрема, якщо зносостійкість композиту з добавками графену Gp 4 підвищується майже в 5 разів, то добавки нанографену N 002 підвищують зносостійкість в 12 разів.

5 На розривній машині зусиллям до 50 кН були проведені випробування міцності одержаних зразків у кількості 20 шт. при одноосному статичному тиску. Довірчий інтервал величини міцності при коефіцієнті надійності 0,95 не перевищує 2,4 кН. Руйнуюче завантаження для зразків спечених, відповідно пропонованої корисної моделі, складає 30 кН. Зразки без добавок графену мали значення руйнуючого завантаження 22 кН.

10 Як видно з наведених вище даних, використання пропонованої корисної моделі дає можливість підвищити міцність одержаних зразків матеріалу більш ніж на 30 %.

Нижня межа вмісту наноматеріалу обумовлена такою його кількістю, яка є достатньою для рівномірного розподілення наноматеріалу на поверхні зерен алмазу.

15 Верхня межа вмісту наноматеріалу обумовлена тим, що при її перевищенні після спікання під тиском надмірні залишки наноматеріалу, в композиті після спікання зменшують його міцність та зносостійкість.

Корисна модель

Спосіб виготовлення зносостійкого надтвердого алмазного полікристалічного композиційного матеріалу

20

Таблиця

Результати випробувань на зносостійкість зразків,
одержаних з використанням різного типу вуглецевого наноматеріалу

Тип вуглецевого наноматеріалу	Інтенсивність зносу по масі, мг/км
Графен Gp 4	0,14
Нанографен N 002	0,05
Технічний вуглець (Carbon black)	0,25
Елементарний вуглець, збагачений ізотопом ^{13}C (83,5 %)	0,19
Нанографіт	0,16
Без добавки вуглецевого наноматеріалу	0,61

Нижня межа вмісту активуючої добавки обмежена тим, що при кількості менше 0,5 % від маси алмазних порошків її буде недостатньо для розчинення графіту та зменшення міжчастинного тертя для кращого ущільнення алмазних частинок.

25 Верхня межа вмісту активуючої добавки обмежена тим, що при її кількості більше 10,0 % від маси алмазних порошків в порах може залишитися незв'язана добавка, а це може призвести до зменшення міцності та зносостійкості композиту.

30 Таким чином, використання способу виготовлення надтвердого алмазного полікристалічного композиційного матеріалу, згідно з корисною моделлю, що пропонується, дозволяє отримати композиційний матеріал, в якому поєднуються такі позитивні фізико-механічні властивості, як міцність та зносостійкість, що дає можливість використовувати такий матеріал для оснащення електронних приборів та різного виду інструментів.

35 Вище описані кращі варіанти здійснення запропонованої корисної моделі, що дозволяють зрозуміти її суть, проте при цьому можливі варіанти, конкретно не наведені в описі, які можуть бути реалізовані без відхилення від суті і об'єму корисної моделі, як визначено в поданій формулі.

Ефективність пропонованої корисної моделі підтверджено науково-експериментальними дослідженнями, проведеними в НТАК "АЛКОН" НАН України.

40

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб виготовлення надтвердого алмазного полікристалічного композиційного матеріалу, який включає послідовне виготовлення шихти, що містить алмазну масу, яка складається з мікропорошку і/або шліфпорошку природного і/або синтетичного алмазу, та спікання її з активуючою процес спікання добавкою при високому тиску з витримкою при високій температурі, який **відрізняється** тим, що при виготовленні шихти додатково вводять нановуглецевий матеріал в кількості 0,01-0,3 % від маси алмазних порошків.

45

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як активуючу процес спікання добавку використовують кремній та його сплави в кількості від 0,5 до 10 % від маси алмазних порошків.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як нановуглецевий матеріал використовують n-шаровий графен ($n \geq 2$).

5

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601