

УДК 666.233

А. В. Ножкина<sup>1</sup>, А. И. Лаптев<sup>2</sup>, доктора технических наук;  
А. А. Ермолаев<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт природных, синтетических алмазов и инструмента» (ВНИИАЛМАЗ), г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), г. Москва, Россия

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗЫ В СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗАХ ТИПА «КАРБОНАДО»

*Studying of a structural structure synthetic «carbonado» is spent by a method of electronic scanning microscopy. It is established, that the surface «carbonado» is covered by the large diamond crystals reaching 200 microns, having obviously expressed structure of growth. On a surface of these crystals observed drops of metal-catalyst (nickel) of a submicronic range. It is established, that the structure synthetic «carbonado» represents interpenetrating skeletons from diamond and ceramic-metal phases.*

При изучении синтетических алмазов типа «карбонадо» было установлено, что они представляют собой композиционные материалы [1]. Свойства синтетических «карбонадо» зависят как от количества и свойств алмазной фазы, так и от состава и распределения металлической фазы, играющей роль связки [2]. Полнота превращения графита в алмаз зависит от свойств используемого графита и параметров синтеза. С повышением давления синтеза повышается скорость превращения графита в алмаз, измельчается алмазная фаза и снижается содержание присутствующего в «карбонадо» остаточного графита. При этом алмазные кристаллиты составляют алмазный каркас [1], а металлическая фаза представлена внутрикристаллитными и межкристаллитными включениями, состав которых зависит от состава применяемых сплавов-катализаторов [3]. Межкристаллитные включения пронизывают весь синтетический «карбонадо». Это подтверждается косвенными данными, полученными в результате измерения электрического сопротивления «карбонадо», которое зависит от количества связки, изменяемой методом химического травления [4].

Настоящая работа посвящена изучению строения синтетических «карбонадо» с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi S-800, их шлифов, сколов, его нестираемого остатка.

Схема синтетического «карбонадо» и поверхности нанесения шлифов и изломов показана на рис. 1.

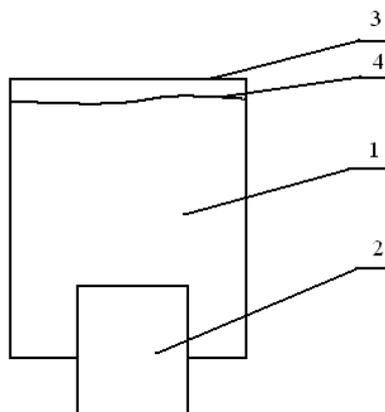


Рис. 1. Схема синтетического «карбонадо»: 1 – алмазный композит; 2 – сплав-катализатор; 3 – торцевая поверхность; 4 – приповерхностный скол

Поликристаллы «карбонадо» синтезировали при давлении 9,0 ГПа и температуре 2000–2200 К с использованием никеля в качестве металла-катализатора.

Типичные области шлифов «карбонадо» при увеличении  $\times 100$  показана на рис. 2 а, б; при увеличении  $\times 300$  – на рис. 3 а, при увеличении  $\times 7000$  – на рис. 3 б, в. Область шлифа, показанная на рис. 3 а, при увеличении  $\times 2500$ , в лучах углерода – на рис. 4 б, никеля – на рис. 4 в.

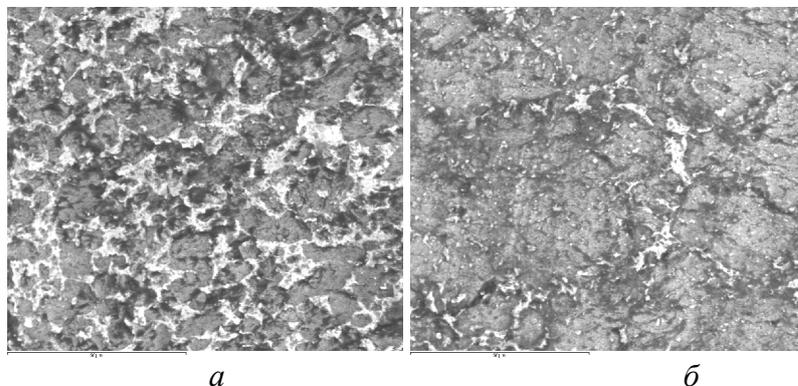


Рис. 2. Типичные области шлифов «карбонадо», изготовленных с помощью алмазных кругов, при увеличении  $\times 100$

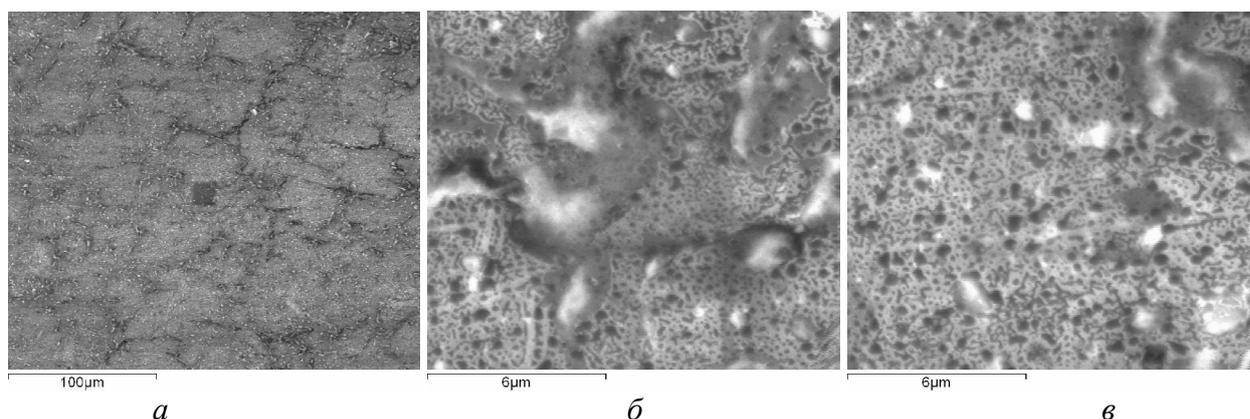


Рис. 3. Типичные области шлифов «карбонадо», изготовленных с помощью чугунного диска, шаржированного алмазным порошком АСН 5/3, при увеличении: а –  $\times 300$ ; б, в –  $\times 7000$

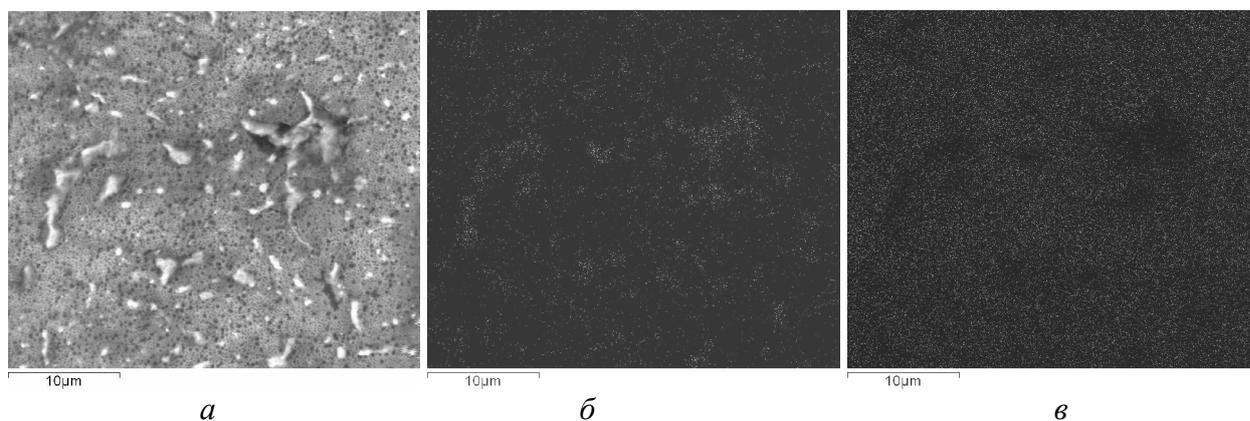


Рис. 4. Распределение никеля и углерода на поверхности шлифа синтетического «карбонадо», изготовленного с помощью чугунного диска, шаржированного алмазным порошком АСН 5/3, при увеличении  $\times 2500$ : а – структура шлифа; б – в лучах никеля; в – в лучах углерода

Как видно на рис. 2–4 шлифы синтетических «карбонадо» представляют собой неоднородные структуры. Никель распределен между алмазными кристаллитами. Алмазные кри-

сталлиты также имеют включения никеля (см. рис. 3 б), которые выпадают в процессе шлифования, образуя на поверхности алмазного зерна раковины размером в доли микрометра. При изучении электропроводности «карбонадо» было установлено, что значительную его часть составляет поверхностная электропроводность [4]. В этой связи были изучены поверхности «карбонадо» (рис. 5 а–д), а также поверхности изломов «карбонадо» в приповерхностной зоне, обозначенной на рис. 1.

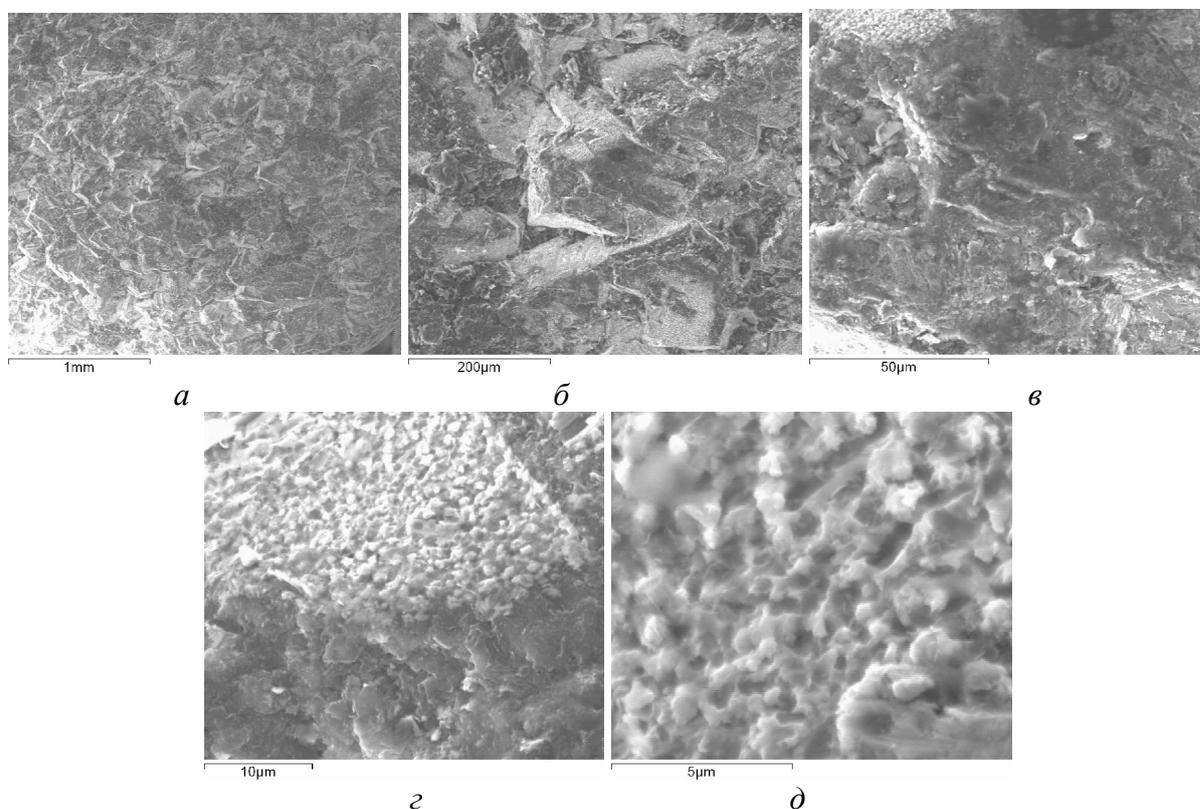


Рис. 5. Общий вид торцевых поверхностей синтетических «карбонадо» при увеличении: а –  $\times 30$ ; б –  $\times 150$ ; в –  $\times 800$ ; з –  $\times 2200$ ; д –  $\times 8000$ .

Из анализа фотографий, приведенных на рис. 5, установили, что поверхность синтетических «карбонадо» покрыта крупными алмазными кристаллитами размером до 200 мкм, которые имеют ярко выраженную кристаллографическую направленность (рисунки 5 а, б и 6 а, б).

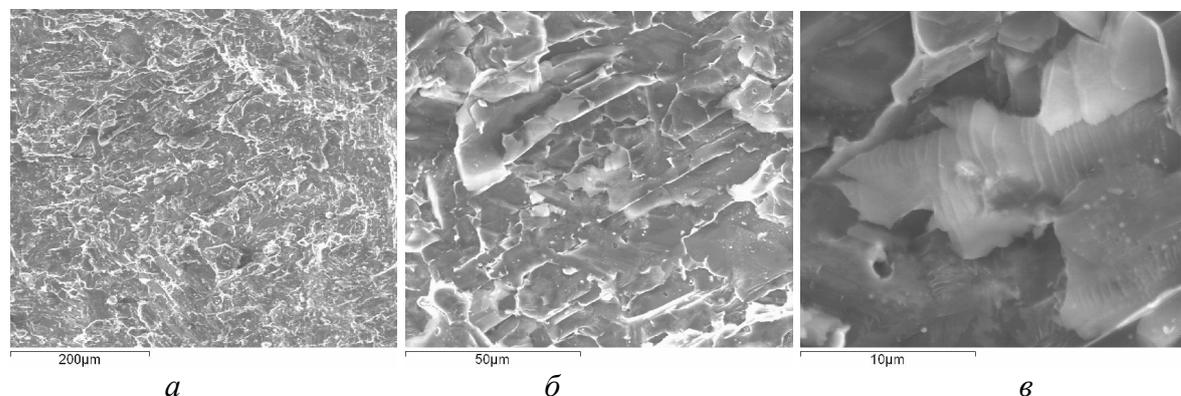


Рис. 6. Общий вид поверхности скола торцевой части «карбонадо» при увеличении: а –  $\times 150$ ; б –  $\times 800$ ; в –  $\times 4000$

Ранее было установлено направление роста алмазных кристаллитов в направлении [110] и его зависимость от условий синтеза [5]. Поверхность «карбонадо» покрыта затвердевшими каплями никеля (рисунки б з, д). При поверхностном химическом травлении никелевых образований электросопротивление синтетических «карбонадо» резко увеличивается [4].

Методом шлифования были изготовлены алмазные диски из надкаталитической зоны «карбонадо» диаметром 4 мм и высотой 2 мм. Алмазные диски отжигали на воздухе при температуре 1000 °С в течение 5 ч в целях удаления алмазной фазы синтетического «карбонадо» и определения несгораемого остатка. После отжига и выгорания алмаза форма и размеры алмазного диска не изменились (рис. 7).

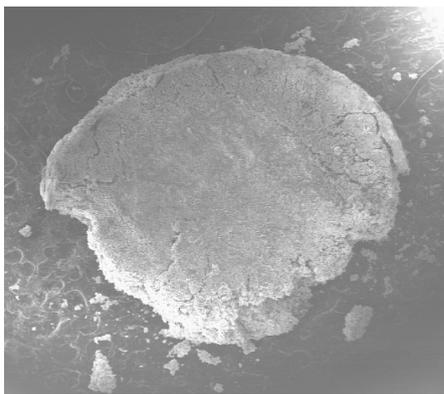


Рис. 7. Общий вид диска «карбонадо» после отжига при температуре 1000 °С на воздухе при увеличении  $\times 30$

В процессе анализа несгораемого остатка установили, что он представляет собой состоящую из оксидов никеля высокопористую ватообразную массу, которая разрушается при прикосновении к ней (рис. 8, 9).

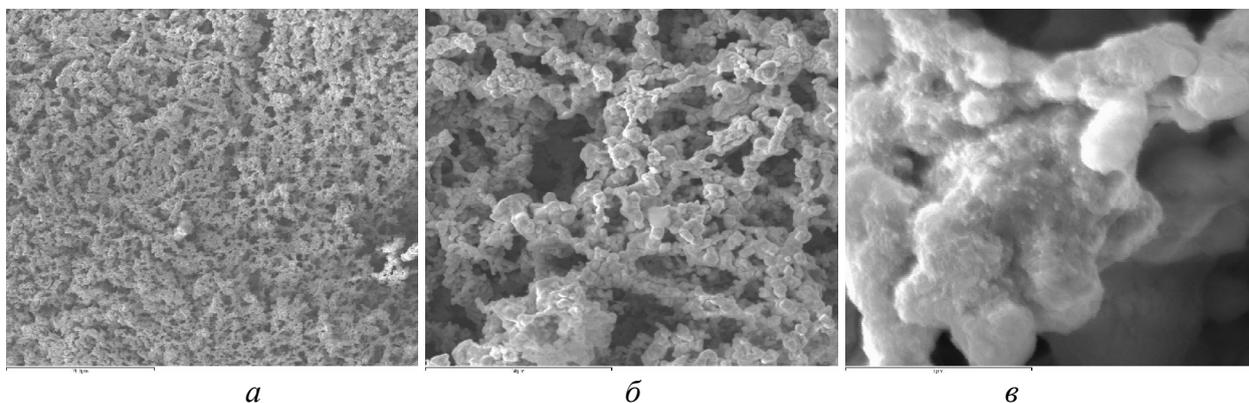


Рис. 8. Общий вид несгораемого остатка после отжига «карбонадо» при увеличении: а –  $\times 150$ ; б –  $\times 800$ ; в –  $\times 8000$

В результате изучения строения несгораемого остатка синтетического «карбонадо» установили, что он представляет собой высокопористую ватообразную массу, состоящую из оксидов никеля. Таким образом, на основании проведенных исследований приходим к выводу, что синтетический «карбонадо» представляет собой взаимопроникающие каркасы из алмазной и металлокерамической фаз, структурные особенности и количественное соотношение которых определяют свойства алмазного композиционного материала – синтетического «карбонадо» в целом.

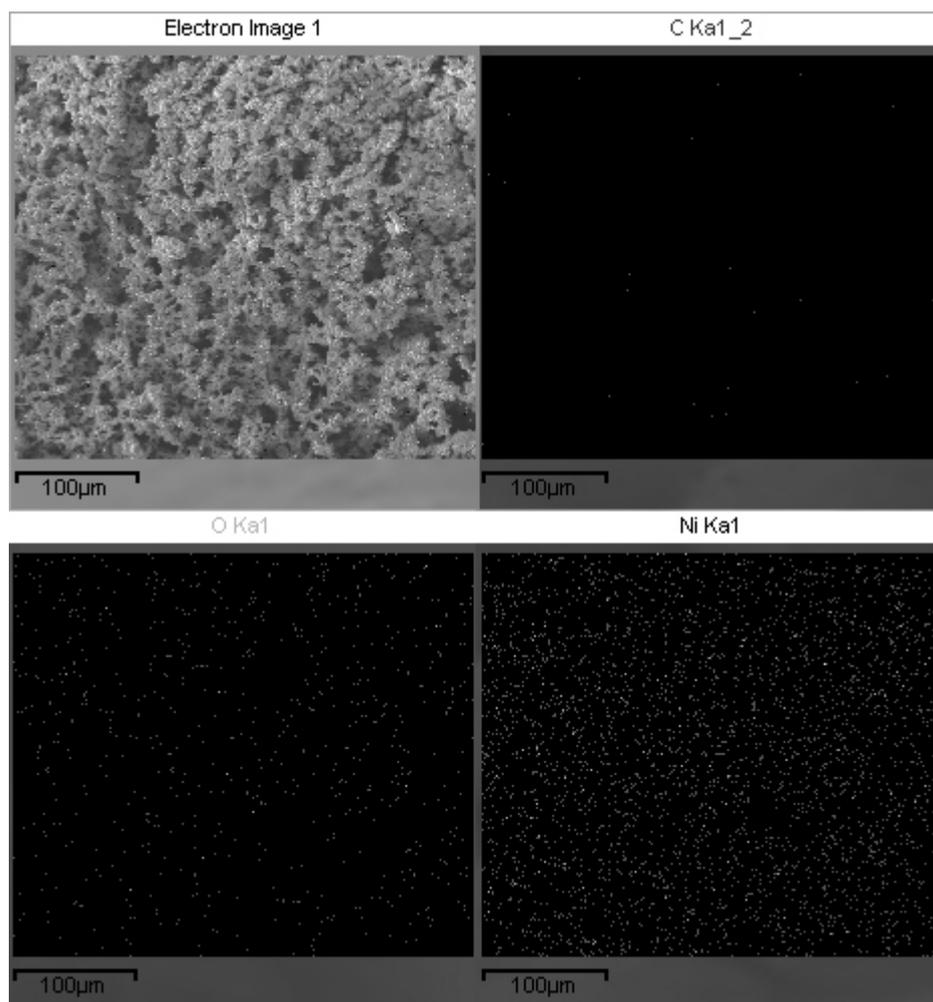


Рис. 9. Распределение углерода, кислорода и никеля по поверхности несгораемого остатка после отжига синтетического «карбонадо», увеличение  $\times 250$

### Литература

1. Ножкина А. В., Лаптев А. И., Ермолаев А. А. Влияние условий получения поликристаллических алмазов «карбонадо» на их прочностные свойства //Сверхтвердые матер. – 2002. – № 5. – С. 36–40.
2. Ножкина А. В., Ермолаев А. А., Лаптев А. И. Формирование структуры синтетического алмазного поликристалла //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. –К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 175–178.
3. Ермолаев А. А., Лаптев А. И., Поляков В. П. Влияние состава сплава-катализатора на механизм синтеза и состав фаз поликристаллического алмаза «карбонадо» //Изв. ВУ-Зов. Цвет. мет. – 2000. – № 2. – С. 62–65.
4. Понизовский Л. З., Боброва Е. М., Лихтер А. И. Исследование электрических и магнитных свойств поликристаллических образований алмаза //Алмазы и сверхтвердые матер. – 1974. – Вып. 8. – С. 1–4.
5. Ножкина А. В., Лаптев А. И., Салимон А. И. Строение синтетических поликристаллических алмазов баллас и карбонадо //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Тез. докл. V междунар. конф. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2002. – С. 25–26.

Поступила 10.06.10