



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 386 515** (13) **C2**

(51) МПК
B22F 1/00 (2006.01)
C22C 1/05 (2006.01)
C22C 26/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008116883/02, 28.04.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.04.2008

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2009

(45) Опубликовано: 20.04.2010 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2050319 C1, 20.12.1995. RU 2244036 C2,
10.01.2005. RU 95120848 A, 10.09.1998. JP 7-
034157 A, 03.02.1995. US 2006280638 A1,
14.12.2006. JP 2004-197153 A, 15.07.2004.

Адрес для переписки:

656049, г.Барнаул, пр-кт Ленина, 61,
комн.801, Алтайский государственный
университет, отдел информации,
Н.А.Богатыревой

(72) Автор(ы):

Плотников Владимир Александрович (RU),
Демьянов Борис Федорович (RU),
Макаров Сергей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Алтайский государственный
университет" (RU)

(54) ШИХТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МЕТАЛЛОАЛМАЗНОГО МАТЕРИАЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к композиционным спеченным металлоалмазным материалам. Шихта для изготовления композиционного металлоалмазного материала содержит 30-90 мас.% нанокристаллов алмаза и 10-70 мас.% смеси никеля и алюминия в стехиометрическом соотношении, соответствующем Ni₃Al или NiAl; или 10-50 мас.% смеси никеля и алюминия в

стехиометрическом соотношении, соответствующем Ni₃Al или NiAl, и 50-90 мас.% смеси нанокристаллов алмаза с 10-40 мас.% алюминия сверх стехиометрии; или 5-70 мас.% алюминия и 30-95 мас.% нанокристаллов алмаза. Шихта позволяет получить материал, обладающий высокой прочностью, твердостью, с устойчивой решеткой алмаза и очищенной от примесей поверхностью частиц алмаза. 3 н.п. ф-лы, 10 ил., 5 табл.

RU 2 386 515 C 2

RU 2 386 515 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

B22F 1/00 (2006.01)*C22C 1/05* (2006.01)*C22C 26/00* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2008116883/02, 28.04.2008**(24) Effective date for property rights:
28.04.2008(43) Application published: **10.11.2009**(45) Date of publication: **20.04.2010 Bull. 11**

Mail address:

**656049, g.Barnaul, pr-kt Lenina, 61, komn.801,
Altajskij gosudarstvennyj universitet, otdel
informatzii, N.A.Bogatyrevoj**

(72) Inventor(s):

**Plotnikov Vladimir Aleksandrovich (RU),
Dem'janov Boris Fedorovich (RU),
Makarov Sergej Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Altajskij gosudarstvennyj universitet" (RU)**

(54) CHARGE FOR PRODUCTION OF COMPOSITE METAL-DIAMOND MATERIAL

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to powder metallurgy, in particular to composite baked metal-diamond materials. Charge for manufacturing of composite metal-diamond material comprises 30-90 wt % of diamond nanocrystals and 10-70 wt % of nickel and aluminium mixture in stoichiometric ratio, which corresponds to Ni_3Al or $NiAl$; or 10-50 wt % of nickel and aluminium mixture in stoichiometric

ratio, which corresponds to Ni_3Al or $NiAl$; and 50-90 wt % of diamond nanocrystals mixture with 10-40 wt % of aluminium over stoichiometry; or 5-70 wt % of aluminium and 30-95 wt % of diamond nanocrystals.

EFFECT: charge makes it possible to produce material having high strength, hardness, with stable lattice of diamond and surface of diamond particles cleaned from admixtures.

3 cl, 10 dwg, 5 tbl, 5 ex

Изобретение относится к области получения поликристаллических композиционных металлоалмазных материалов из исходной порошковой смеси, предварительно компактированной в изделие определенной формы и размеров, проведения спекания при высоких температурах в вакууме, сопровождаемого структурированием кристаллической среды интерметаллических соединений системы никель-алюминий в присутствии алюминия сверхстехиометрического состава и нанокристаллов детонационного алмаза. Используется для производства объемных поликристаллических наноструктурных металлоалмазных композитов широкого применения.

Известен способ синтеза алмазов в присутствии интерметаллических соединений, содержащих редкоземельный и переходной металлы [1]. Синтез алмаза проводили в диапазоне давлений и температур, соответствующих области термодинамической стабильности кристаллической решетки алмаза в тороидальных камерах высокого давления по стандартной порошковой методике. Исходными веществами служили порошковый графит и порошковые интерметаллиды RNi_5 (R-La, Gd, Er) и R_2Ni_{17} (R-Gd, Er). Присутствие интерметаллических соединений увеличивало выход алмаза, причем алмаз был получен в виде поликристаллических сростков. Недостатком этого способа является сложность и высокая стоимость оснастки и оборудования для осуществления синтеза, а также невозможность получения консолидированного металлоалмазного композита.

Известен способ компактирования наноалмазов детонационного синтеза для получения композиционных и поликристаллических материалов [2], в котором в отличие от классического [1] предлагается модифицировать поверхность наночастиц путем изменения химического и фазового состава. Модификацию поверхности наночастиц алмаза осуществляют добавлением в исходный порошок элементов В, Ti, Si, которые, по мнению авторов, во-первых, связывают кислород, а во-вторых, способствуют образованию карбидов. Спекание нанокристаллов в области метастабильности алмаза (давлении 7 GPa и температуре 2300°C) позволяет получать пористые поликристаллические агрегаты композита алмаз-нитрид бора. Недостатком этого способа являются высокие параметры термобарического спекания, требующие специального оборудования (установки высокого давления 7 GPa и более, а также высокие более 2000°C температуры спекания).

Известна шихта и способ получения поликристаллических композиционных материалов на основе нанокристаллов алмаза, модифицированных кобальтом и титаном, и спеченных в обычных термобарических условиях (давление 7 GPa), в вакууме, взятые за прототип [3]. Модификация наноалмаза металлами (Co, Ti до 10 wt.%) повышает механическую прочность и снижает температуру термобарической обработки до 1300°C. Недостатком этого способа является высокая пористость композита (до 15-30%), особенно при спекании в вакууме, и необходимость использования реакторов высокого давления. Без приложения высокого статического давления наблюдается низкая прочность композиционного материала (микротвердость 0,8-1,0 GPa, плотность 1,1-1,2 g/cm³) в сравнении с прочностью композита (микротвердость около 25-31 GPa, плотность 2,83 g/cm³), полученного в термобарических условиях, а также склонность к графитизации наночастиц алмаза.

Сущность изобретения

Шихту для изготовления композиционного металлоалмазного материала спекают в вакууме, для этого используют смесь, состоящую из нанокристаллов детонационного алмаза, а также порошкового алюминия и никеля, взятых в соотношении, по

алюминию превосходящем стехиометрическое соотношение NiAl.

Таким образом:

во-первых, берут шихту, содержащую экзотермическую смесь исходных металлов никель и алюминий, в которой при протекании реакции синтезируются
5 интерметаллические соединения NiAl или Ni₃Al;

во-вторых, исходную смесь металлов выдерживают в соотношении, превосходящем по алюминию стехиометрическое;

в-третьих, добавляют нанокристаллы детонационного алмаза в количестве,
10 обеспечивающем формирование макроскопического наноструктурного поликристаллического агрегата.

Такой состав смеси при нагреве в вакууме обеспечивает не только достижение термодинамических параметров устойчивости кристаллической решетки алмаза за счет протекания реакции в системе никель-алюминий, образования интерметаллидов
15 этой системы и локального повышения температуры (адиабатическая температура выше 2000 К) при прохождении синтеза интерметаллических соединений, но и взаимодействие алюминия, взятого в концентрации выше, чем стехиометрическое соотношение 50 атомных %, с атомами примеси, адсорбированными на поверхности
20 наночастиц алмаза.

Задачей изобретения является создание материала, состоящего из реагирующей смеси металлов и наночастиц детонационного алмаза, взятых в таких количествах, чтобы обеспечить:

1. Протекание реакции синтеза интерметаллидов.
- 25 2. Модификацию поверхности нанокристаллов алмаза от слоя адсорбированных атомов примеси.
3. Консолидацию нанокристаллов алмаза в наноструктурный поликристаллический агрегат в условиях структурирования кристаллической среды интерметаллидов и
30 соединений металла с адсорбированными на поверхности наночастицы примесями.
4. Формирование композиционного наноструктурного поликристаллического металлоалмазного композита с приемлемым для практического использования набором физико-механических свойств.

Осуществление изобретения достигается следующим образом.

35 Берут шихту, содержащую нанокристаллы детонационного алмаза и экзотермическую смесь исходных металлов никель и алюминий, в которой при протекании реакции синтезируются интерметаллические соединения NiAl или Ni₃Al.

40 1. Шихта для получения композиционного металлоалмазного материала содержит перечисленные компоненты в следующих процентных массовых количествах (мас.%):

Нанокристаллы алмаза	30-90%
Интерметаллическая смесь Ni ₃ Al или NiAl	10-70%

45 2. Шихта содержит алюминий сверхстехиометрического состава Ni₃Al или NiAl в количестве 10-40%.

3. Шихта содержит алюминий в количестве 5-70% и нанокристаллы детонационного алмаза в количестве 95-30%, обеспечивающем формирование макроскопического наноструктурного поликристаллического агрегата.

50 Шихту для изготовления композиционного металлоалмазного материала из исходной смеси компонентов перемешивают и предварительно прессуют в образцы, так как металлоалмазный композит представляет собой хрупкий композиционный материал. Добавление в исходную реагирующую смесь металлов нанокристаллов

алмаза эквивалентно разбавлению последней инертной компонентой, что приводит к снижению зоны реакции и связыванию части теплового эффекта реакции инертной компонентой. Исходную заготовку нагревают до температуры 900-950°C в вакууме (остаточное давление около 10^{-3} мм ртутного столба) для обеспечения синтеза интерметаллических соединений, консолидации наночастиц в поликристаллический агрегат и формирования наноструктурного металлоалмазного композита.

Синтез интерметаллических соединений системы никель-алюминий сопровождается не только экзотермическим эффектом и формированием кристаллической структуры, но и упорядочением двухатомной системы Ni и Al с образованием сверхструктур типа В2 для интерметаллида NiAl и типа L1₂ для интерметаллида Ni₃Al. Обе сверхструктуры характеризуются существенным сверхструктурным сжатием. В табл.1 приведены некоторые кристаллографические характеристики синтезируемых интерметаллидов. Выбор системы никель-алюминий обусловлен следующими факторами.

Во-первых, сверхструктурное сжатие кристаллической решетки интерметаллидов (табл.1) приводит к получению необходимых термодинамических параметров стабильности кристаллической решетки алмаза для захваченных решеткой интерметаллида частиц.

Во-вторых, интерметаллиды системы никель-алюминий обладают каталитическим эффектом по аналогии с каталитическими свойствами интерметаллических соединений лантаноидов с никелем.

В-третьих, никель и алюминий, находящиеся в ионизированном, возбужденном состоянии, влияют на состояние поверхности наночастиц алмаза в условиях действия температурных, химических и физических градиентов во фронте реакции.

Набор этих параметров в ходе синтеза интерметаллических соединений системы никель-алюминий в совокупности с высоким экзотермическим эффектом реакций и исходной энтальпией, обеспеченной внешним источником тепла, достигает необходимых термодинамических параметров устойчивости решетки алмаза, с одной стороны, и очищает (хотя бы частично) поверхность алмазных наночастиц от примесных атомов, с другой.

Пример 1

Исходный порошок детонационного алмаза, изготовленного по ТУ 84-112-87 (изготовитель ФНПЦ «Алтай»), представлен в виде образцов-цилиндров диаметром 10 мм и высотой 5-10 мм. Образцы помещают в вакуумную печь (давление 10^{-3} мм ртутного столба) и подвергают отжигу при температуре 950°C в течение 30 минут. После отжига особых изменений нанопорошка детонационного алмаза не обнаруживают. Порошок легко отделяется от образца, а рентгенограмма (фиг.1) не отличается от рентгенограммы исходного: на рентгенограмме наноалмаза рефлексy (111), (220) и (311) аномально уширены. В табл.2 приведены данные по межплоскостному расстоянию d , положению рефлексов $2\theta R$ и физическому уширению рефлексов β для естественных кристаллов алмаза и для нанокристаллов алмаза. Положения максимумов интерференционных пиков и, соответственно, межплоскостные расстояния хорошо согласуются для всех трех случаев: крупнокристаллического алмаза (табличные значения), наноалмаза в исходном состоянии и наноалмаза после отжига.

Уширение рентгеновских рефлексов алмаза в первую очередь обусловлено малыми размерами кристаллов, отражающих рентгеновский пучок, и микронапряжениями, приводящими к изменению межплоскостного расстояния отражающих плоскостей.

Размер областей когерентного рассеяния D вычисляют по формуле:

$$\beta \cos \theta / \lambda = 1/D + \epsilon 4 \sin \theta / \lambda, \quad (1)$$

где β - уширение рентгеновского рефлекса;

λ - длина волны рентгеновского излучения;

ϵ - относительное изменение межплоскостного расстояния;

θ - угол дифракции рентгеновских отражений (положение максимума рентгеновского рефлекса).

Согласно формуле (1) размер областей когерентного рассеяния, то есть размер нанокристаллов детонационного алмаза, составляет 4-6 нм (40-60 ангстрем).

Пример 2

Шихта для изготовления композиционного металлоалмазного материала представляет собой 70-90% реагирующей порошковой смеси стехиометрического состава Ni_3Al и 30-10% соответственно детонационного алмаза (взяты в массовом процентном соотношении). После смешивания шихты во вращающемся контейнере с дополнительными телами (мелкая стальная дробь) из смеси формируют цилиндрические образцы диаметром 10 мм и высотой 5-10 мм в пресс-форме с усилием прессования 2000 кг. Полученные образцы помещают в печь при температуре 700-900°C. Образцы после проведения синтеза, представляющие собой расслоившиеся спеки, исследуют. Рентгенографический анализ показывает (фиг.2), что основные рефлексы (111), (220), (311) рентнограммы представляют собой рефлексы интерметаллида Ni_3Al , расщепленные на дополнительные рефлексы, идентифицированные как рефлексы никеля.

Более детальный анализ рефлексов (111) (фиг.3а) и (220) (фиг.3б) позволяет заключить, что асимметрия рефлекса (220) обусловлена наличием рефлекса алмаза, проведенная реконструкция рефлекса и анализ его уширения показывают, что произошло значительное сужение рефлекса (220) алмаза по сравнению с рефлексом (220) исходного порошка детонационного наноалмаза. Расчет по формуле (1) показывает, что произошло увеличение размеров кристаллов алмаза примерно на порядок (то есть с 4,5 до 54 нм).

Пример 3

Шихта для изготовления композиционного металлоалмазного материала представляет собой 70-90% реагирующей порошковой смеси стехиометрического состава NiAl и 30-10% соответственно детонационного алмаза (взяты в массовом процентном соотношении). Образцы получают и обрабатывают так же как в примере 2. После синтеза образцы, представляющие собой сильно расслоившиеся спеки, исследуют. Рентгенографический анализ показывает (фиг.4), что основные рефлексы представлены рефлексами NiAl .

Более детальный анализ рефлексов (рис.5а, 5б) показывает расщепление рефлекса (111) на два (фиг.5а), а рефлекс (220) (фиг.5б) - наличие одного рефлекса, существенно суженного по сравнению с исходной шириной рефлекса (220) исходного детонационного алмаза.

Пример 4

Для осуществления консолидации наночастиц детонационного алмаза и получения поликристаллического наноструктурного агрегата составляют две шихты, содержащие:

1) 10-50% реагирующей смеси состава Ni_3Al и 90-50% смеси, содержащей 20% Al и 80% детонационного алмаза. То есть содержание алюминия в шихте превышает стехиометрическое соотношение Ni_3Al ;

2) 10-50% реагирующей смеси состава NiAl и 90-50% смеси, содержащей 20% Al

и 80% детонационного алмаза. Вновь содержание алюминия в шихте превышает стехиометрическое соотношение NiAl. В данных примерах смеси взяты в массовом процентном соотношении. Образцы получают и обрабатывают так же как в примере 2. Структура полученных композитов приведена на фиг.6а, 6б и представляет собой двухфазную металлоалмазную смесь. Прочностные свойства композиционных металлоалмазных материалов приведены в таблицах 3 и 4. В связи с тем что прочность композита уменьшается с ростом концентрации компоненты, в табл.4 граничная концентрация интерметаллической компоненты взята величиной 40%.

Рентгеноструктурный анализ (фиг.7а, 7б) показывает, что вблизи рефлекса (111) алюминия есть рефлекс (111) углерода алмазной модификации. Рентгенограммы также содержат набор рефлексов, принадлежащих соединениям алюминия с атомами примеси, адсорбированными на поверхности частиц наноалмаза.

Пример 5

Для осуществления консолидации наночастиц алмаза и получения поликристаллического наноструктурного агрегата составляют шихту, содержащую 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70 мас.% алюминия и соответственно 95, 90, 80, 70, 60, 50, 30 мас.% детонационного наноалмаза. Смесь перемешивают, формуют и прессуют образцы, проводят отжиг в течение 30 минут в вакууме при температуре 900°C. Структура полученных композитов приведена на (фиг.8а, 8б).

Как и в примере 4, структура композита представляет собой двухфазную металлоалмазную смесь. Однако при увеличении концентрации алюминия в ходе спекания наблюдают диспергирование исходных конгломератов наноалмаза и более равномерное распределение его в структуре композита.

Рентгеноструктурный анализ (фиг.9а, 9б) свидетельствует, что наноалмаз композита претерпевает существенные изменения. Полуширина рефлекса (111) алмаза существенно уменьшается, что соответствует увеличению размеров нанокристалла детонационного композита на порядок, согласно расчетам по формуле (1).

В табл.5 представлены физико-механические характеристики композиционного металлоалмазного материала.

Из приведенных примеров следует, что термическое воздействие на образцы из металлоалмазной шихты, осуществляемое как за счет внутреннего тепла синтезируемого интерметаллида, так и за счет внешнего, и их комбинаций, приводит к существенному изменению фазового состава конечного продукта и его структурного состояния и физико-механических свойств.

Во-первых, присутствие наноалмазной компоненты приводит к появлению в композите не только интерметаллической фазы системы никель-алюминий, но и чистого никеля и соединений алюминия с атомами примеси.

Во-вторых, взаимодействие алюминия с атомами примеси, адсорбированной поверхностью наночастиц, нарушает стехиометрию интерметаллида исходной смеси, поэтому конечный продукт содержит интерметаллид Ni_3Al , то есть смещает стехиометрию в сторону обогащения никелем, вплоть до появления свободного никеля.

В-третьих, свободному алюминию в шихте принадлежит роль элемента, модифицирующего (очищающего) поверхность наночастиц алмаза.

Выводы: Полученный композит представляет собой металлоалмазный наноструктурный поликристаллический материал, в котором присутствуют металлическая или интерметаллическая фаза, продукты реакции алюминия с атомами примеси, адсорбированными на поверхности наночастиц, и наночастицы алмаза,

консолидация которых осуществлена как за счет очистки наноповерхности кристаллов алмаза, так и за счет диспергирования алмазных конгломератов в кристаллической решетке металла и (или) интерметаллида.

Полученный композиционный металлоалмазный материал обладает относительно высокой прочностью. Микротвердость спеченного композита (фиг.10) зависит от содержания металлической компоненты как функция с максимумом. Максимум микротвердости приходится на интервал концентраций металлической компоненты 10-30%, а плотность полученного металлоалмазного композита составляет величину 1,70-1,97 г/см³.

Литература

1. Никольская И.В., Путятин А.А., Калашников Я.А. Синтез алмазов в присутствии интерметаллических соединений. // Алмазы и сверхтвердые материалы, 1983, №10, с.2-4.

2. Витязь П.А., Сенють В.Т. Компактирование наноалмазов детонационного синтеза и свойства композиционных и поликристаллических материалов на их основе. // ФТТ, 2004, т.46, №4, с.743-745.

3. Сенють В.Т., Мосунов Е.И. Исследование физико-механических свойств нанокристаллических материалов на основе ультрадисперсных алмазов. // ФТТ, 2004, т.46, №4, с.746-748

Таблица 1				
Кристаллогеометрические параметры интерметаллических соединений системы никель-алюминий				
Соединение	Тип решетки	Сверхструктура	Сверхструктурное сжатие	Коэффициент заполнения
NiAl	Кубическая ОЦК	B2	0,12-0,14	0,79-0,85
Ni ₃ Al	Кубическая ГЦК	L1 ₂	0,064	0,65-0,82

Таблица 2								
Положения интерференционных линий 2θ, межплоскостные расстояния d и физическое уширение β для крупнокристаллического алмаза и наноалмаза								
Табличные значения для крупнокристаллического алмаза			Исходный порошок детонационного наноалмаза			Детонационный наноалмаз после отжига		
hkl	d, Å	2θ, град	2θ, град	d, Å	β, град	2θ, град	d, Å	β, град
111	2,06	43,91	43,6	2,0741	2,25	43,7	2,0696	2,25
220	1,26	75,37	75,3	1,2613	2,27	75,4	1,2596	2,47
311	1,07	92,09	91,0	1,0740	2,48	91,5	1,0753	3,38
400	0,89	119,9						
331	0,82	139,9						

Примечание. В табл.2 hkl - индексы кристаллографических плоскостей, β - уширение рентгеновского рефлекса						Таблица 3		
Механические свойства металлоалмазного композита Ni ₃ Al - Al - детонационный алмаз								
Шихта			Ni ₃ Al - (20% Al - 80% детонационный алмаз)					
Содержание Ni ₃ Al			10%	20%	30%	40%	50%	
Микротвердость Н _v , ГПа			1,23	1,35	0,9	1,29	1,2	

Таблица 4							
Механические свойства металлоалмазного композита NiAl - Al - детонационный алмаз							
Шихта		NiAl - (20% Al - 80% детонационный алмаз)					
Содержание NiAl		10%	20%	30%	40%		
Микротвердость Н _v , ГПа		0,9	1,14	1,53	1,64		

Таблица 5								
Механические свойства металлоалмазного композита Al - детонационный алмаз								
Шихта		Al - детонационный алмаз						
Содержание Al		5%	10%	20%	30%	40%	50%	70%
Микротвердость Н _v , ГПа		3,65	4,31	3,98	2,72	1,81	1,57	0,90
Плотность, г/см ³		1,76	1,70	1,76	1,97	1,79	1,61	1,70

Формула изобретения

5 1. Шихта для изготовления композиционного металлоалмазного материала, содержащая нанокристаллы алмаза, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит смесь никеля и алюминий в стехиометрическом соотношении, соответствующем Ni_3Al или $NiAl$, при следующем соотношении компонентов шихты, мас. %:

10 нанокристаллы алмаза 30-90
смесь никеля и алюминия 10-70

15 2. Шихта для изготовления композиционного металлоалмазного материала, содержащая нанокристаллы алмаза, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит смесь никеля и алюминия в стехиометрическом соотношении, соответствующем Ni_3Al или $NiAl$, и алюминий сверх стехиометрии в количестве 10-40 мас. % в смеси с нанокристаллами алмаза при следующем соотношении компонентов шихты, мас. %:

20 смесь никеля и алюминия 10-50
смесь нанокристаллов алмаза и алюминия 50-90

25 3. Шихта для изготовления композиционного металлоалмазного материала, содержащая нанокристаллы алмаза, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит алюминий при следующем соотношении компонентов шихты, мас. %:

30 алюминий 5-70
нанокристаллы алмаза 30-95

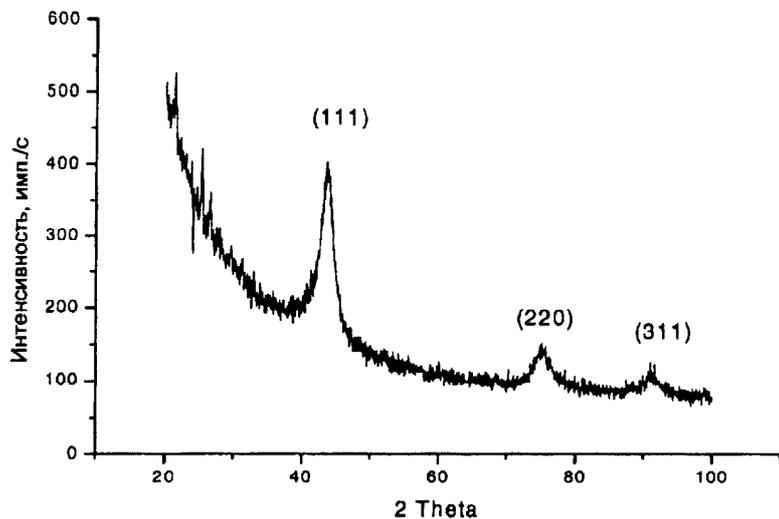
30

35

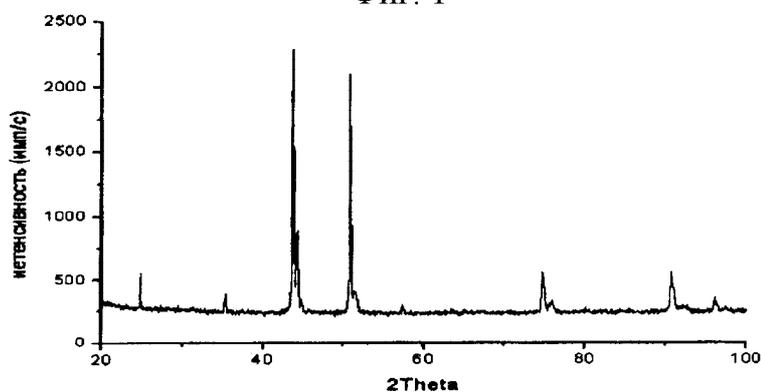
40

45

50

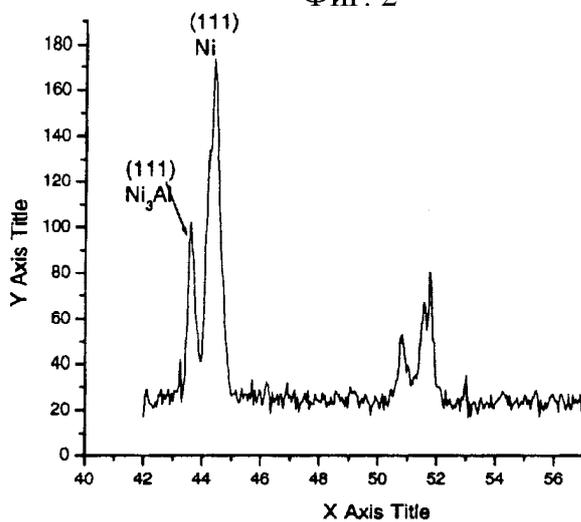


Рентгенограмма нанокристаллов детонационного алмаза.
Фиг. 1



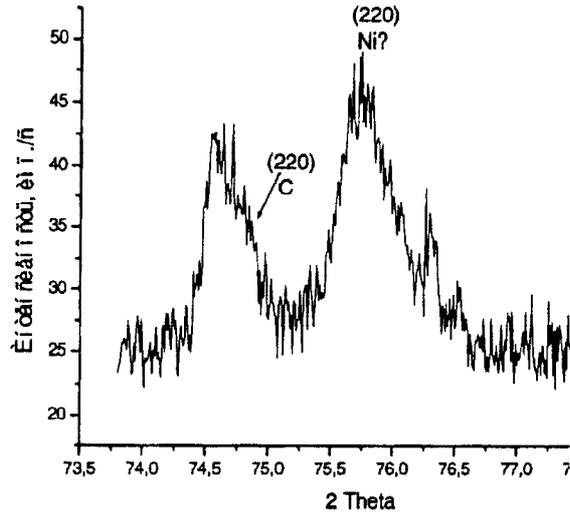
Рентгенограмма Ni₃Al, синтезированного в присутствии наноалмаза.

Фиг. 2



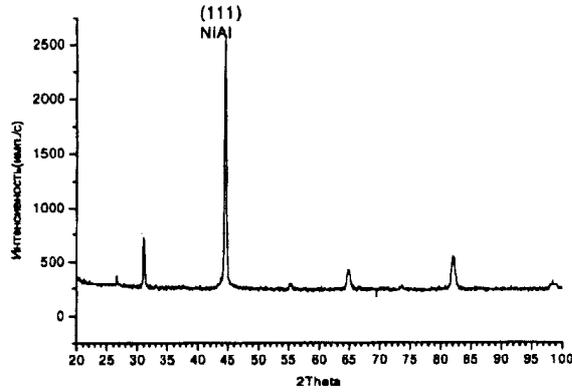
Расщепление рефлекса (111) Ni₃Al в присутствии наноалмаза в ходе синтеза интерметаллида.

Фиг. 3а



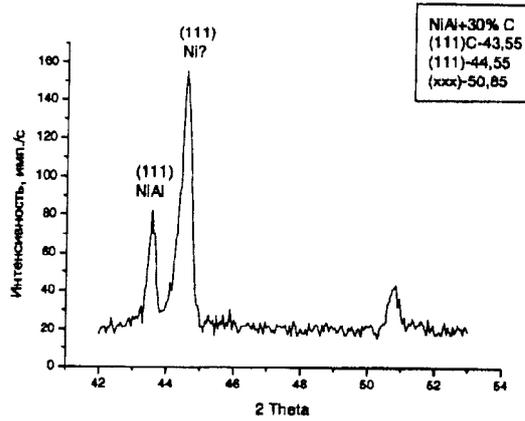
Расщепление рефлекса (220) Ni_3Al в присутствии наноалмаза в ходе синтеза интерметаллида.

Фиг. 3б



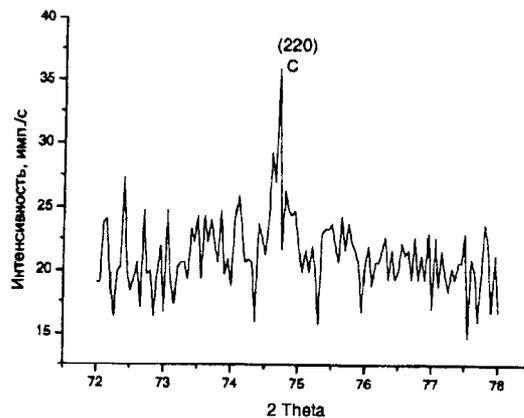
Рентгенограмма $NiAl$, синтезированного в присутствии наноалмаза. I

Фиг. 4



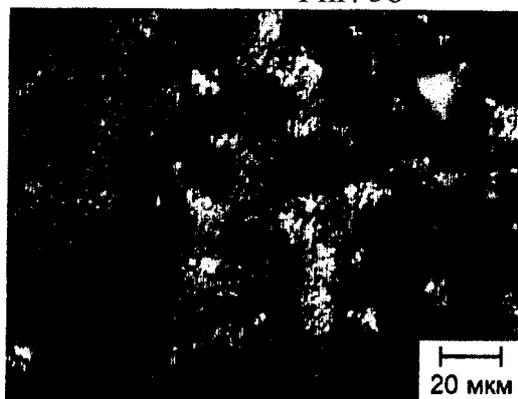
Расщепление рефлекса (111) $NiAl$ в присутствии наноалмаза в ходе синтеза интерметаллида.

Фиг. 5а



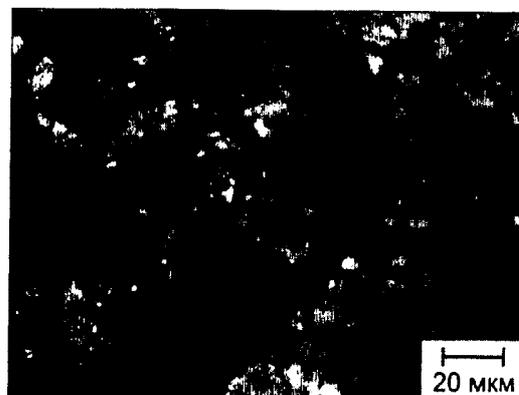
Рефлекс (220) наноалмаза в интервале углов 2θ 72 – 78 градусов.

Фиг. 5б



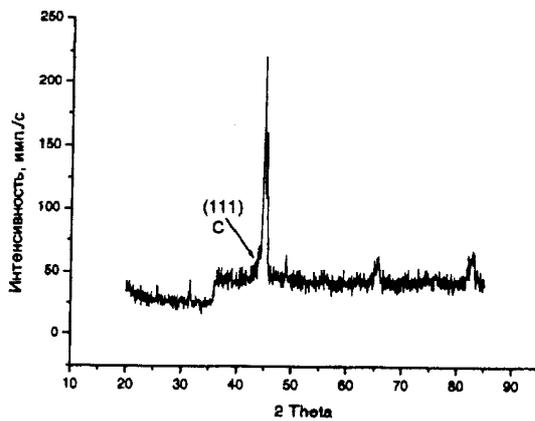
Спеченный композит $Ni_3Al - Al -$ наноалмаз.

Фиг. 6а



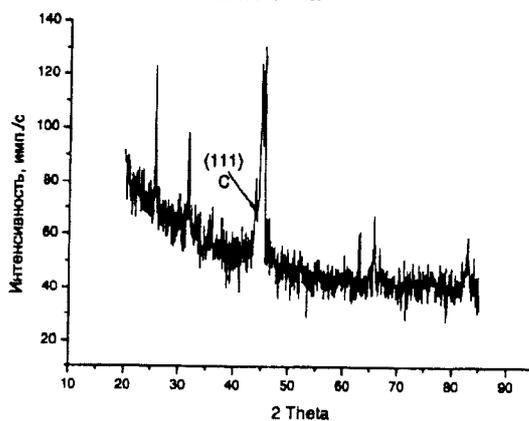
Спеченный композит $NiAl - Al -$ наноалмаз.

Фиг. 6б



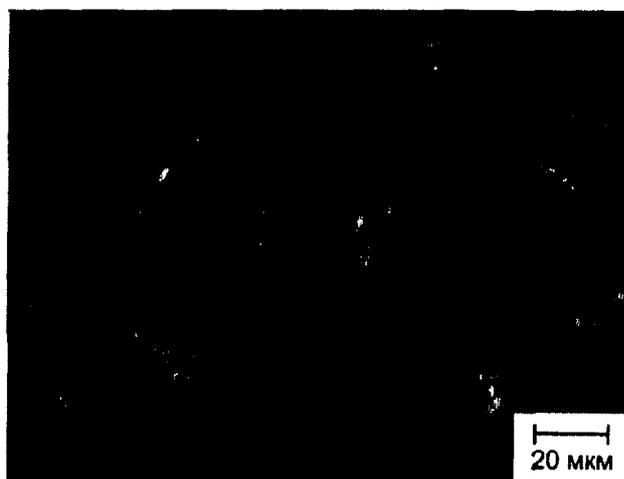
**Рентгенограмма композита Ni₃Al
Al - наноалмаз.**

Фиг. 7а



**Рентгенограмма композита NiAl
- Al - наноалмаз.**

Фиг. 7б



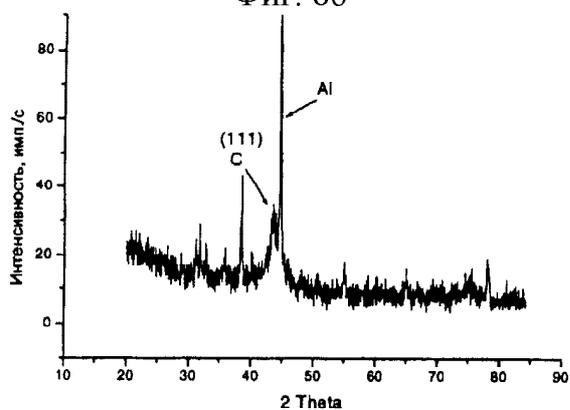
**Двухфазная структура композита
10% Al - детонационный наноалмаз.**

Фиг. 8а



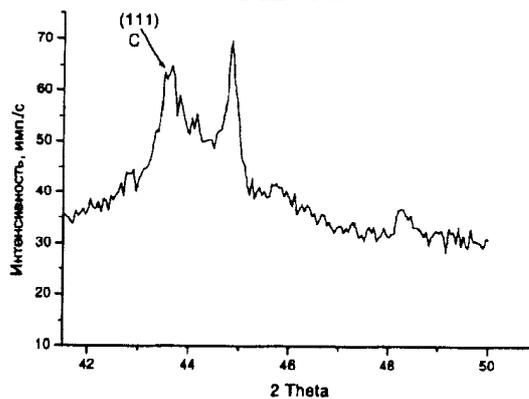
**Двухфазная структура композита
40% Al – детонационный наноалмаз.**

Фиг. 8б



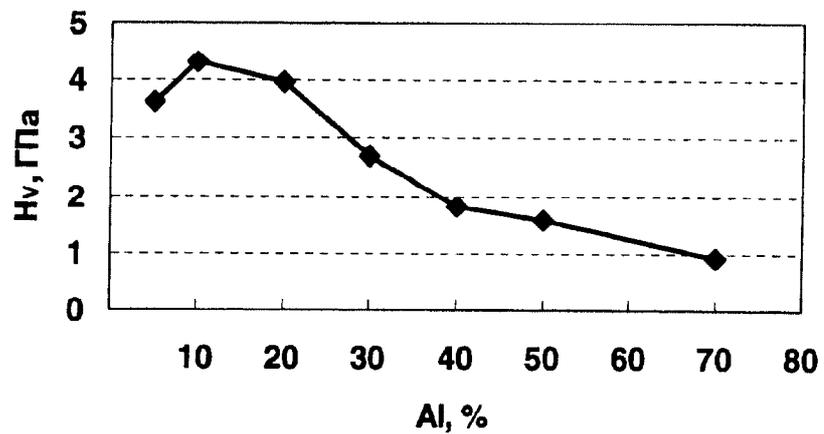
**Рефлекс (111) C композита
Al-наноалмаз с 10 % Al.**

Фиг. 9а



**Рефлекс (111) C композита Al -
наноалмаз с 30 % Al.**

Фиг. 9б



Зависимость микротвердости спеченного металлоалмазного композита от содержания алюминия в исходной шихте.

Фиг. 10