

соединения некоторых биметаллов при ударном нагружении и их влияние на механические свойства // В кн.: Металловедение и прочность материалов, Труды Волгоградского политехнического института, вып. У.-Волгоград.-1972.-С.214-219.

2. Эпштейн Г.Н. Стрoение металлов, деформированных взрывом.- М.: Металлургия.-1980.-254 с.

3. Волчков В.М., Козлов А.А., Кулаков И.А. Влияние подвижных дислокаций на диффузию в металлах // В кн.: Металловедение и прочность материалов: Труды Волгоградского политехнического института, вып. У1.-Волгоград.-1974.-С.250-253.

4. Альшиц В.И., Инденбом В.Л. Динамическое торможение дислокаций.-УФН, 1975.-Т.115.-С.3-39.

5. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов.-Л.:Наука, 1975.-527 с.

6. Cowan G.R.//Trans. Met. Soc. AIME.-1965.-V. 253.-P. 1120.

УДК 546.273.171 + 661.659:536.46

Добрянский В.М., Занкевич В.А.
Ракицкий Э.Б., Ракицкая Л.И.
Степень А.Р.

УПРУГИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНЫХ МОДИФИКАЦИЙ НИТРИДА БОРА

БИМСХ, ИФТТН АН БССР

Теоретически модули упругости плотных модификаций кубического нитрида бора в ряде работ, например [1], оценивали по известным значениям модулей упругости материала стандарта, используя соотношения:

$$E_x = E_o \left(\frac{1-2\sigma_x}{1-2\sigma_o} \right) \frac{T_{sx}}{T_{so}} \left(\frac{V_{ax}}{V_{ao}} \right) \left(\frac{C_o}{C_x} \right)^{2/3} \quad (1)$$

где E_x , E_o - модуль Юнга исследуемого и эталонного вещества; T_{sx} , T_{so} - температуры плавления; V_{ax} , V_{ao} - атомный объем. Используя соотношение (1) в [1], рассчитаны модули упругости кубического нитрида бора со сфалеритной структурой при использовании в качестве эталона алмаз, а при определении значения E кубического нитрида бора со структурой вюрцита в качестве эталона

взят $\beta - SiC$. Экспериментально в [2,3] показано, что модули упругости плотных модификаций нитрида бора отличаются незначительно. Вместе с тем представляет интерес проследить тенденции изменения модулей упругости плотных модификаций нитрида бора от плотности, т.е. от степени превращения $BN_r - BN_{сф}$. В работе также показаны особенности изменения модулей упругости кубического нитрида бора (КНБ) в зависимости от температуры отжига в различных средах.

Плотность (кажущаяся) определялась по известной методике гидростатического взвешивания. Скорость ультразвуковых волн определяли импульсным ультразвуковым методом [4], а расчет модулей упругости проводили по известным соотношениям, описанным в [1,4]. В качестве исходного материала для синтеза выбран пиролитический нитрид бора (ПНБ) с плотностью $2 \cdot 10^3$ кг/м³. Различие значений скоростей ультразвуковых волн при температуре 293 К вдоль плоскости осаждения ПНБ и в перпендикулярном направлении указывает на текстурированность ПНБ. На анизотропию ряда физических свойств ПНБ, в том числе тепловых, электрических указывалось в ряде публикаций, например [3]. Синтез проводили на аппаратах высокого давления типа "наковальня с лункой" при давлениях и температурах, соответствующих области термодинамической устойчивости превращения $BN_r - BN_{сф}$ [5]. Для предотвращения диффузии примесей из контейнера в рабочий объем заготовки помещали в металлические экраны.

Установлено, что у образцов КНБ, полученных из ПНБ, наблюдается анизотропия упругих свойств. Так, в образцах КНБ с плотностью $\rho = 3,46 \cdot 10^3$ кг/м³ в форме диска скорость продольной ультразвуковой волны вдоль оси диска составляет 15400 м/с, а в радиальном направлении 15900 м/с. Вследствие анизотропии упругих свойств, на рис. 1 приведены усредненные значения модулей упругости нитрида бора в зависимости от плотности синтезируемых образцов. Для образцов КНБ марки "Светланит" с плотностью $3,45 \cdot 10^3$ кг/м³ значения модулей упругостей при 293 К составляют: модуль Юнга $E = (890 \pm 30)$ ГПа, модуль сдвига $G = (398 \pm 30)$ ГПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,115 \pm 0,015$. Отличие полученных значений модулей упругости кубического нитрида бора от данных, полученных другими авторами [5], объясняется двумя причинами: различием технологий получения и методики измерения.

Таким образом, значение модуля упругости сверхтвердого ма-

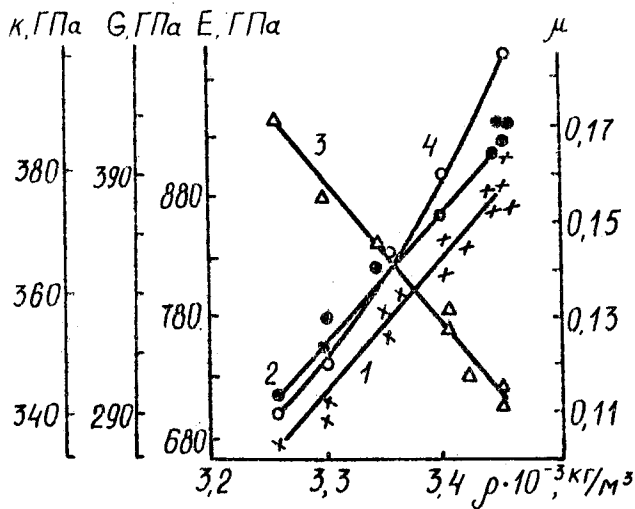


Рис. 1 Зависимости модуля Юнга E (кривая 1), модуля сдвига (кривая 2), коэффициента Пуансона μ (кривая 3), модуля всестороннего сжатия (кривая 4) плотных модификаций нитрида бора от их плотности

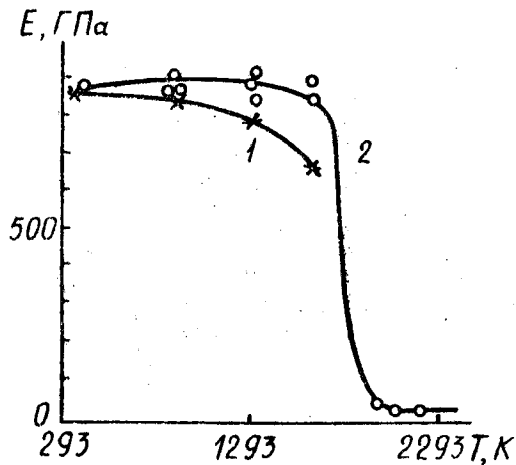


Рис. 2 Зависимость модуля Юнга КНБ с плотностью $3,45 \cdot 10^3$ кг/м³ от температуры отжига на воздухе (кривая 1) и в азотной среде (кривая 2)

териала (СТМ) марки "СветланІт" превышает модуль упругости СТС "Эльбор-РМ" - $E = 840$ ГПа, "Гексанит-Р" - $E = 715$ ГПа, "Композита 03-И1" - $E = 620$ ГПа, "Киборита" - $E = 880$ ГПа. Из рис. 1 видно, что в измеряемом интервале плотностей зависимости $E(\rho)$, $\beta(\rho)$, $\mu(\rho)$ линейны.

В [2,6] показано, что в плотных модификациях КтБ с повышением температуры модуль упругости уменьшается. Установлено, что температурный отжиг СТМ марки "СветланІт" в атмосфере азота до температуры 1273 К в течение 2 часов приводит к увеличению модуля упругости. Это объясняется тем, что температурный отжиг приводит к частичному изменению микроструктуры: изменению концентрации точечных дефектов, внутренних напряжений. Уменьшение модуля упругости СТМ марки "СветланІт" при температурах отжига $T > 1200$ К на воздухе, вероятно, связано с тем, что происходит взаимодействие BN с O_2 с образованием поверхностного слоя оксида бора. Резкое уменьшение модуля упругости при температуре отжига 1500 К - 1800 К связано с фазовым превращением $BN_{сф} \rightarrow BN_r$. Модули упругости образцов, отожженных в атмосфере азота при температурах $T > 2023$ К, близки к модулям упругости исходных заготовок из пиролитического нитрида бора.

В заключение авторы выражают благодарность д.т.н., профессору Мазуренко А.М. за ряд замечаний при обсуждении работы.

Л и т е р а т у р а

1. Францевич И.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов //Справочник.- Киев: Наукова думка.-1982.-286 с.
2. Голубев А.С., Курдюмов А.В., Пилянкевич А.Н. Нитрид бора. Структура, свойства, получение.-Киев: Наукова думка.-1987.-197 с.
3. Песин В.А. Упругие постоянные плотных модификаций нитрида бора //Сверхтвердые материалы.-1980.-№6.-С.5-7.
4. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М:Иностранная литература.-1957.-273 с.
5. Курдюмов А.В., Пилянкевич А.Н. Фазовые превращения в углероде и нитриде бора.-Киев: Наукова думка.-1979.-188 с.
6. Шипило В.В., Шипинок Н.А., Мозовко А.В. Температурные зависимости модуля Юнга и внутреннего трения плотных модификаций

УДК 539.89:546.273.171 Добрянский В.М., Лугаков Н.Ф., Занкевич В.А., Крот О.И., Федоров А.Д.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА НИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ

БИМСХ, БелРНИОПМ

Нитридная керамика используется в качестве термостойкого и высокопрочного конструкционного материала в различных областях техники, в частности, деталей керамических тепловых двигателей [1] Известно [1-4], что выбор оптимальных режимов формования и синтеза изделий из нитридной керамики зависит от многих факторов, например, размера частиц порошка, его состава и физико-механических свойств, конструкций пресс-форм, среды, передающей давление, сложности изделия, длительности нагружения, режимов тепло- и массопереноса. Одним из наиболее известных методов получения нитридных керамик является формование изделия с последующим длительным спеканием в азотной среде. Для уменьшения пористости нитридных керамик по данному методу обычно используют различные активизирующие добавки [1-3]. Без активизирующих добавок высокую плотность изделия из нитридных керамик можно получить, используя горячее прессование при высоких давлениях. Упругие свойства керамик из нитридов алюминия, кремния, титана в зависимости от давления прессования и режимов горячего прессования изучены недостаточно.

Значительную информацию об упругих свойствах веществ можно получить, исследуя распространение в них ультразвуковых волн. Измерение скорости ультразвуковых волн проводили импульсным методом [5,6]. Плотность (кажущаяся) определялась методом гидростатического взвешивания по известной методике. Размеры образцов определяли с точностью до 1 мкм. Термобарическую обработку заготовок в виде дисков диаметром 6,0 - 8,0 мм, высотой 4,0 - 6,0 мм проводили с использованием аппаратов высокого давления типа "наковальня с лункой" [8]. В качестве исходных порошков использовали дисперс-