УДК 621.921.34

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО СПЕКАНИЯ КОМПОЗИТА АЛМАЗ – КУБИЧЕСКИЙ НИТРИД БОРА

А. М. ПАРНИЦКИЙ[1], Ю. А. МЕЛЬНИК[2]
[1]Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
[2]Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Свойства поликристаллических сверхтвердых материалов на основе алмазных микропорошков формируются в узком диапазоне параметров термобарической обработки, поэтому выбор режимов целесообразно вести на основе экспериментально-статистической модели.

В качестве шихты использовали микропорошок алмаза статического синтеза АСМ 14/10 с размером зерен 10...14 мкм (ГОСТ 9206–80), модифицированный кремнием отжигом в герметичном контейнере в парах кремнийсодержащих соединений при 950 °С с выдержкой 3 ч; содержание кремния в шихте составило около 10 мас. % [1]. Добавкой служил микропорошок кубического нитрида бора (КНБ) дисперсностью 5...7 мкм, повышающий термостойкость и химическую инертность композита. Спекание проводили в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» на гидравлическом прессе ДО-138Б с усилием 6,3 МН. Давление калибровали по полиморфному превращению в реперном веществе Bi; температуру контролировали хромель-алюмелевой и платина-платинородиевой термопарами.

Задача состояла в установлении зависимости микротвердости HV композита от параметров процесса. Независимыми факторами приняты температура спекания T, давление P и содержание добавки КНБ $C_{КНБ}$ при фиксированной выдержке 15 с. Содержание добавки включено в число варьируемых факторов наравне с параметрами обработки. Уровни и интервалы варьирования приведены в табл. 1.

Табл. 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Код	Интервал варьирования	Уровень фактора		
			нижний –1	основной 0	верхний +1
Температура спекания T, °С	x_1	300	1 500	1 800	2 100
Давление P, ГПа	x_2	1,0	5,5	6,5	7,5
Содержание добавки КНБ $C_{КНБ}$, мас. %	x_3	5	5	10	15

Реализован некомпозиционный план второго порядка, включающий 15 опытов, в том числе три в центре плана; в каждой точке выполнено по три параллельных определений отклика, что соответствует числу степеней свободы $f = 30$. Коэффициенты полинома второй степени рассчитывали по [2]. Дисперсия воспроизводимости по опытам в центре плана составила $s^2\{Y_{HV}\} = 3{,}523$. Сопоставление коэффициентов с доверительными интервалами ($t_m = 2{,}04$)

показало статистическую незначимость коэффициентов b_1, b_{12} и b_{23}, которые исключены из модели:

$$Y_{HV} = 57{,}267 - 1{,}650x_2 - 3{,}363x_3 - 3{,}700x_1x_3 - \\ - 2{,}708x_1^2 - 3{,}083x_2^2 - 3{,}808x_3^2. \quad (1)$$

Адекватность модели подтверждена по критерию Фишера: $F_p = 7{,}452 < F_m = 19{,}37$ при 5-процентном уровне значимости. После перехода к натуральным значениям факторов уравнение (1) принимает вид

$$Y_{HV} = -212{,}377 + 0{,}133T + 38{,}429P + 6{,}808C_{КНБ} - 0{,}002467T \cdot C_{КНБ} - \\ - 0{,}000030T^2 - 3{,}083P^2 - 0{,}152C_{КНБ}^2. \quad (2)$$

Наибольшее по модулю влияние на отклик оказывают содержание добавки КНБ ($b_3 = -3{,}363$) и парное взаимодействие температуры с содержанием добавки ($b_{13} = -3{,}700$), причем в исследованном интервале увеличение $C_{КНБ}$ приводит к снижению микротвердости. Наличие квадратичных членов обусловливает нелинейный характер зависимости: повышение температуры увеличивает твердость лишь до предела, после которого развивается графитизация алмаза и твердость снижается (рис. 1). Аналогичный экстремальный характер имеет зависимость отклика от давления.

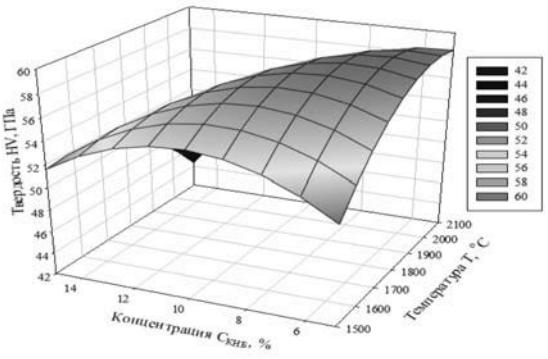


Рис. 1. Зависимость микротвердости от температуры T и содержания добавки $C_{КНБ}$ при $P = 6{,}5$ ГПа

На основании расчетно-экспериментального моделирования установлена рациональная область технологических режимов термобарического спекания: $T = (1950 \pm 30)$ °С, $P = (6{,}5 \pm 0{,}25)$ ГПа, $C_{КНБ} = (9{,}5 \pm 1)$ мас. %. Расчетный максимум твердости достигается при меньшем содержании добавки, однако указанный диапазон принят как компромиссный: КНБ повышает термостойкость, плотность и сопротивление изнашиванию композита при допустимом снижении твердости. Уравнение (2) может использоваться для выбора режимов спекания в пределах исследованных интервалов варьирования факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение методом термобарического спекания композитов на основе алмаза и КНБ, модифицированных Si и SiC / Т. В. Сенють [и др.] // Порошковая металлургия : сб. науч. тр. – Мн. : Бел. наука, 2015. – Вып. 38. – С. 142–150.

2. **Спиридонов, А. А.** Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.