

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПСТМ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ

Парницкий А.М., Сеньюк В.Т.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Как известно, одной из важнейших задач при получении поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе нано- и микропорошков алмазов является достижение сочетания оптимальных характеристик получаемых материалов при минимальных производственных затратах [1]. В связи с этим для обоснованного выбора состава шихты и технологических режимов термобарического спекания ПСТМ, а также установления зависимости максимальной твердости H_V от параметров термобарического спекания и фракционного состава материала в работе были использованы методы математического планирования эксперимента, традиционно применяемые для оптимизации разнообразных технологических процессов [2]. В качестве основных факторов, влияющих на качество алмазных ПСТМ, рассматривались давление P , ГПа, температура T , °С и концентрация добавки C , %, в качестве которой использовали УДА-порошок детонационного синтеза.

В качестве исходных материалов использовались порошок УДА производства НП ЗАО «Синта» (г. Минск) с размером частиц 4–10 нм (ТУ РБ 28619110.001-95), модифицированный бором, и микропорошок алмазов статического синтеза АСМ 14/10 производства ЗАИ ПО «Кристалл» (г. Гомель) (ГОСТ 9206-80), модифицированный кремнием. Термобарическую обработку шихты выполняли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» в диапазоне давлений 5,5–7,5 ГПа при температуре от 1650 до 1950 °С.

Математическая модель уравнения отклика от независимых переменных с учетом эффектов их взаимодействий и ошибки эксперимента была представлена в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2$$

где y – параметр оптимизации; k – число факторов; i, l – номера факторов, $i \neq l$; x_i, x_l – варьируемые факторы; b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметр оптимизации.

Для получения модели процесса в виде полинома второй степени реализован некомпозиционный план второго порядка. Использование некомпозиционных планов, предусматривающих всего три уровня варьирования факторов (+1, 0, -1), упрощает и удешевляет проведение эксперимента. На основе априорной информации были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов. Затем составили матрицу

некомпозиционного плана второго порядка для трех факторов. В соответствии с условиями опытов проводили спекание модифицированных алмазных порошков и измеряли значения твердости. По данным опытов, проведенных согласно матрице планирования, получена модель, характеризующая зависимость твердости Y_{HV} от исследуемых факторов процесса и представляет собой полином второй степени. С учетом перехода к натуральным значениям факторов уравнение регрессии примет вид:

$$Y_{HV} = -1446,34 + 135,64 \cdot P + 7,004 \cdot C + 1,12 \cdot T - 0,00333 \cdot T \cdot C - 0,000292 \cdot T^2 - 10,68 \cdot P - 0,0337 \cdot C$$

Полученное уравнение регрессии можно использовать для выбора технологических режимов спекания поликристаллических материалов, обеспечивающих оптимальные значения твердости в зависимости от исследуемых факторов (Т, Р, С). На рисунке 1 представлены полученные с помощью уравнения графические зависимости твердости от температуры и концентрации добавки УДА-порошка. При построении поверхности откликов (программа SigmaPlot 13) варьировались только два фактора.

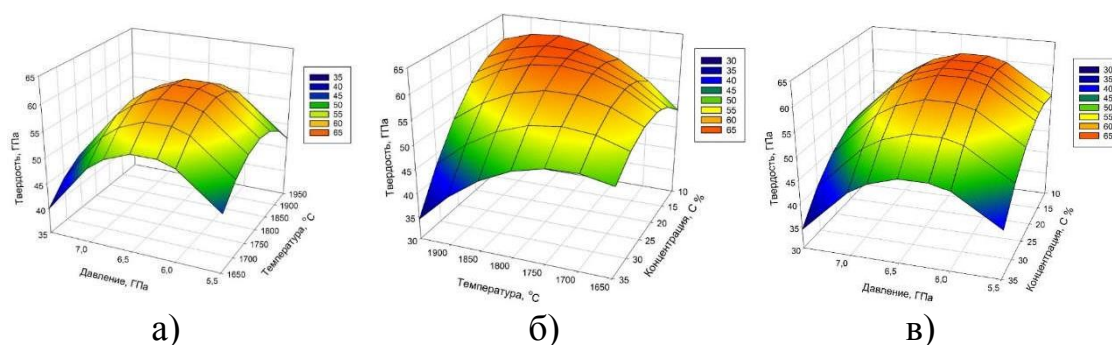


Рисунок 1 – Зависимость твердости Y_{HV} от исследуемых факторов процесса: а) температура Т и давление Р (С = 20 %); б) температура Т и концентрация С (Р = 6,5 ГПа); в) давление Р и концентрация С (Т = 1800 °С);

Установлено, что максимальная твердость $HV=58,4-63,7$ ГПа обеспечивается при температуре спекания $T=1875-1925$ °С, давлении спекания $P=6,2-6,7$ ГПа и концентрации добавки УДА-порошка $C=17,6-22,4$ %. Проведенная практическая проверка полученной модели показала ее адекватность в пределах выбранных интервалов варьирования технологических параметров.

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ НАНУ, 2001. – 528 с.

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