

PACS: 81.05.Uw, 81.07.Wx, 81.20.Ev, 81.65.Cf

С.Н. Назарчук, А.А. Бочечка, Г.А. Петасюк

УПЛОТНЕНИЕ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины
ул. Автозаводская, 2, г. Киев, 04074, Украина
E-mail: nazarchuk_s@ukr.net

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2008 года

Представлены зависимости уплотнения алмазных порошков различной дисперсности и генезиса от давления в стальной пресс-форме и в аппарате высокого давления (АВД). Приведено изменение морфологических характеристик данных порошков вследствие термической обработки в водороде, а также в результате воздействия высокого давления при комнатной температуре. Установлено, что на начальном этапе уплотнения с увеличением среднего размера зерен исходного алмазного порошка повышается предельно достижимая плотность компактов. Значительное уплотнение происходит при давлении до 0.41 GPa. Достигнутое значение плотности мало изменяется с увеличением давления до 8 GPa. Повышение давления вызывает дробление частиц. При этом средний размер частиц порошка уменьшается, а его удельная поверхность увеличивается.

Ключевые слова: алмазный порошок, плотность, размер частиц, компактирование, водородная обработка

Предварительное уплотнение алмазного порошка перед спеканием при комнатной температуре в стальной пресс-форме (компактирование), а также в АВД влияет на плотность и физико-механические свойства спеченных поликристаллических материалов на основе алмаза. В данной работе представлены результаты исследования уплотнения при комнатной температуре алмазных порошков различной дисперсности и генезиса в стальной пресс-форме и в ячейке АВД, рассмотрено изменение морфологических характеристик алмазных порошков при указанных процессах.

Исследовали алмазные нанопорошки динамического синтеза: ультрадисперсный порошок алмаза (УДА), алмазные нанопорошки, синтезированные путем ударно-волновой обработки графита (НА1) и сажи (НА2), а также микропорошки статического синтеза АСМ 28/20, шлифпорошки АС6 160/125, АС6 125/100 в состоянии поставки и после термической обработки в среде водорода.

Компактирование проводили под давлением до 0.49 GPa в стальной пресс-форме с внутренним диаметром 8.8 mm.

Плотность алмазных компактов ρ определяли на основании измерений перед уплотнением массы порошка m_a и высоты h полученных компактов по формуле

$$\rho = \frac{m_a}{S_0 h},$$

где S_0 – коэффициент калибровки пресс-формы, равный $0.615 \pm 0.004 \text{ cm}^2$. Измерение массы проводили на аналитических весах с точностью до 0.005 mg , а измерение высоты компактов – непосредственно в пресс-форме с помощью нуль-индикатора с точностью 0.01 mm . Относительная погрешность определения плотности составляла 4%.

Компакты, сформированные под давлением в АД, предварительно запрессовывали в графит [1] для дальнейшего определения плотности методом гидростатического взвешивания [2] в воде. Если не проводить эту операцию, прессованные алмазные компакты, как правило, разрушаются.

Обработку порошков в среде водорода при температуре 973 K осуществляли на протяжении 30 min .

Размерные и морфологические характеристики алмазных порошков определяли с помощью компьютерно-аналитической диагностики на приборе «DiaInspect.OSM» [3–5]. Удельный периметр рассчитывали как отношение фактического периметра проекции зерна к ее площади.

На начальном этапе уплотнения с увеличением среднего размера зерен исходного алмазного порошка от 20 nm до $160 \text{ }\mu\text{m}$ повышается гранично-достижимая плотность компактов от 1.55 до 3.15 g/cm^3 (рис. 1). Для нанопорошков НА1 предельная плотность компактов значительно больше, чем для нанопорошков НА2 и УДА (кривые 1–3 на рис. 1), что также связано с повышением плотности при увеличении среднего размера зерен порошка.

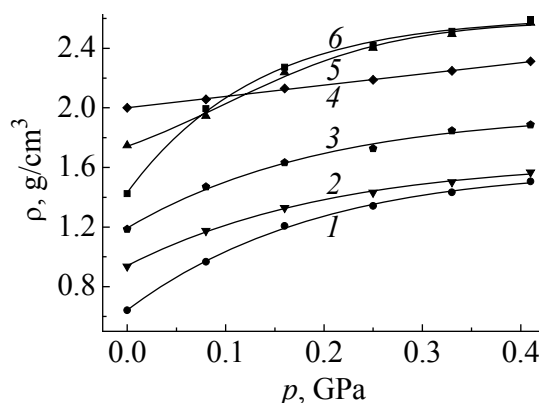


Рис. 1. Зависимости плотности компактов из алмазных порошков УДА (1), НА2 (2), НА1 (3), АСМ 28/20 (4), АС6 125/100 (5), АС6 160/125 (6) от давления в диапазоне $0\text{--}0.44 \text{ GPa}$

Было установлено, что для всех исследуемых порошков зависимость плотности сформированных компактов от давления описывается сигмоидальной функцией, т.е. на начальном этапе (предварительное компактирование до 0.41 GPa) происходит значительное уплотнение (рис. 2), далее достигается максимальное значение плотности компакта, которое мало изменяется с увеличением давления до 8 GPa .

Термическая обработка порошков в среде водорода сильно не изменяет максимальную плотность компактов как при низком (рис. 3,а), так и при

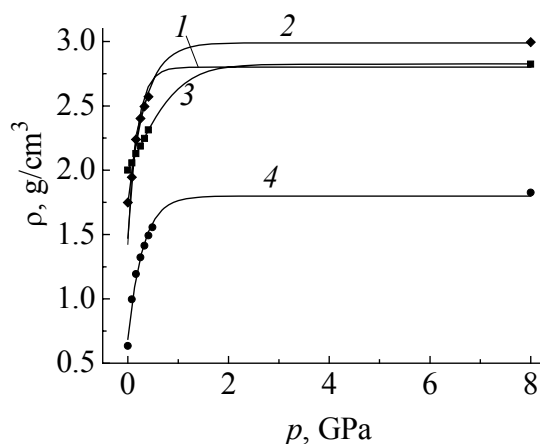


Рис. 2. Зависимости плотности компактов из алмазных порошков АС6 160/125 (1), АС6 125/100 (2), АСМ 28/20 (3), УДА (4) от давления в диапазоне 0–8 GPa

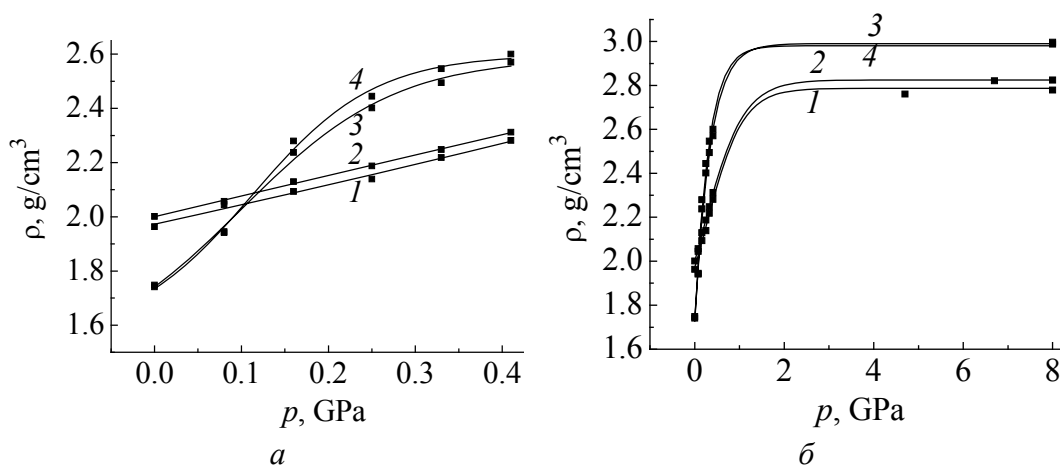


Рис. 3. Зависимости плотности компактов из алмазных порошков от давления в диапазонах 0–0.44 (а) и 0–8 GPa (б): 1, 2 – АСМ 28/20, соответственно исходный и обработанный в среде водорода; 3, 4 – АС6 125/100, соответственно исходный и обработанный в среде водорода

высоком (рис. 3,б) давлениях. Незначительные изменения плотности происходят за счет изменения морфологии поверхности порошков после их термической обработки.

Повышение граничного значения плотности компактов с увеличением размера частиц алмазного нанопорошка, сформированных при комнатной температуре, связано, очевидно, с уменьшением силы трения между частицами, поскольку уплотнение алмазных порошков происходит за счет взаимного проскальзывания частиц, так как при действии давления 8 GPa частицы алмазного порошка размером меньше 2 μm не разрушаются [6].

Результаты исследования размерных и морфологических характеристик алмазных порошков показали, что действие высокого давления значительно уменьшает средний размер частиц порошка и увеличивает удельную поверхность порошков (таблица) за счет дробления. Это, в свою очередь, приводит к увеличению суммарной площади контакта частиц и росту силы трения. Таким образом, наступает момент, когда плотность компактов достигает максимального значения и не изменяется при дальнейшем увеличении давления.

Таблица

Характеристики алмазных порошков в зависимости от обработки и воздействия давления

Порошок	Водородная обработка	Давление прессования p , GPa	Средний размер частиц D_{av} , μm	Удельный периметр P_{sp} , m^{-1}
АСМ 28/20	–	–	28.8	0.184
		8	12.7	0.453
	+	–	27.2	0.190
		8	5.9	1.106
АС6 125/100	–	–	160.2	0.037
		8	6.2	1.069
	+	–	177.2	0.037
		8	15.6	0.420
АС6 160/125	–	–	183.3	0.030
		8	10.4	0.566
	+	–	164.0	0.033
		8	12.0	0.503

Водородная обработка также влияет на изменение морфологии поверхности частиц порошков и, как следствие, на плотность компактов, но для каждого порошка по-разному в зависимости от исходного размера частиц порошка.

Выводы

1. Установлено, что зависимость плотности сформированных в пресс-форме компактов от давления описывается сигмоидальной функцией для всех исследуемых порошков.

2. С увеличением размера частиц исходного порошка от 20 nm до 160 μm повышается гранично-достижимая плотность компактов от 1.55 до 3.15 g/cm^3 .

3. Термическая обработка порошков в среде водорода существенно не изменяет максимальную плотность компактов как при низком, так и при высоком давлении.

4. Действие высокого давления на алмазные микро- и шлифпорошки приводит к дроблению частиц порошков, вследствие чего значительно уменьшается средний размер частиц и увеличивается удельная поверхность, что приводит к росту силы трения и площади контакта частиц. В результате плотность компактов достигает максимального значения и слабо изменяется при дальнейшем увеличении давления.

1. А.А. Бочечка, В.С. Гаврилова, Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения **10**, 111 (2005).
2. С.С. Кивилис, Плотномеры, Энергия, Москва (1980).

3. E. List, J. Frenzel, H. Vollstadt, *Industrial diamond review* № 1, 42 (2006).
4. Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Г.А. Петасюк, *Сверхтв. материалы* № 3, 73 (2005).
5. Г.А. Петасюк, *Фіз.-хім. механіка матеріалів* № 5, 101 (2003).
6. А.А. Бочечка, *Сверхтв. материалы* № 5, 9 (1993).

С.М. Назарчук, О.О. Бочечка, Г.А. Петасюк

УЩІЛЬНЕННЯ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ ПІД ВПЛИВОМ ВИСОКОГО ТИСКУ

Представлено залежності ущільнення алмазних порошків різної дисперсності і генезису від тиску в сталевій прес-формі і в апараті високого тиску (АВТ). Наведено зміну морфологічних характеристик даних порошків унаслідок термічної обробки у водні, а також в результаті дії високого тиску при кімнатній температурі. Встановлено, що на початковому етапі ущільнення зі збільшенням середнього розміру зерен первинного алмазного порошку підвищується гранично досяжна щільність компактів. Значне ущільнення відбувається при тиску до 0.41 ГПа. Досягнуте значення щільності мало змінюється зі збільшенням тиску до 8 ГПа. Підвищення тиску викликає дроблення частинок. При цьому середній розмір частинок порошку зменшується, а його питома поверхня збільшується.

Ключові слова: алмазний порошок, щільність, розмір частинок, компактування, воднева обробка

S.N. Nazarchuk, A.A. Bochechka, G.A. Petasjuk

HIGH-PRESSURE COMPACTION OF DIAMOND POWDERS

Dependences of compaction of diamond powders of various dispersiveness and genesis on pressure in a steel mold and in a high pressure apparatus (HPA) are presented. Change of morphological characteristics of the powders owing to thermal treatment in hydrogen, and also as a result of high pressure effect at a room temperature is shown. It is established that at the initial stage of compaction the ultimate achievable compact density increases with increase in the average size of grains of an initial diamond powder. Significant compaction occurs at a pressure to 0.41 GPa. The reached value of density changes a little with increase in pressure up to 8 GPa. Pressure increase causes the crushing of particles. The average size of powder particles decreases and its specific surface increases.

Keywords: diamond powder, density, particle size, compaction, hydrogen treatment

Fig. 1. Dependences of the density of compacted diamond powders UDD (1), NA2 (2), NA1 (3), ASM28/20 (4), AS6 125/100 (5), AS6 160/125 (6) on pressure over the range 0–0.44 GPa

Fig. 2. Dependences of the density of compacted diamond powders UDD (1), NA2 (2), NA1 (3), ASM 28/20 (4), AS6 125/100 (5), AS6 160/125 (6) on pressure over the range 0–8 GPa

Fig. 3. Dependences of the density of compacted diamond powders on pressure over the range 0–0.44 (a) and 0–8 GPa (b): 1, 2 – ASM 28/20, initial and treated in hydrogen, respectively; 3, 4 – AS6 125/100, initial and treated in hydrogen