

та титанового сплаву ВТ22. Проведено порівняння результатів згідно континуальної моделі і експериментальних даних по кінетиці накопичення пошкоджень за змінною модуля пружності та питомого електроопору в конструкційних матеріалах при їх пружно-пластичному навантаженні.

Список літератури: 1. Лебедев А.О. Методика та результати досліджень процесів накопичення пошкоджень в металевих матеріалах при різних умовах навантаження: Вестник «КПИ» серия «Машиностроение». №44. 2003. с.9-12. 2. Бобир М.І., Грабовський А.П., Яхно Б.О. Моделі накопичення пошкоджень при складному мало цикловому навантаженні: Вестник «КПИ» серия «Машиностроение». №44. 2003. с.13-15. 3. Тамуж В.П., Куксенко В.С. Микромеханика разрушения полимерных материалов: Рига, «Знание», 1978, с.167. 4. Качанов Л.М. Основы механики разрушения: М., Наука, 1974, 308с. 5. Голуб В.П. Нелинейная механика континуальной поврежденности и её приложение к задачам ползучести и усталости: Прикладная механика, том 36, №3, 2000, с.31-66. 6. Чаусов Н.Г., Маковецкий И.В. Моделирование кинетики рассеянных поврежденных в металлических материалах на разных стадиях деформирования при статическом нагружении: Вестник НТТ «КПИ», серия «Машиностроение», №43, 2002, с.6-9. 7. Болотин В.В. Трещиностойкость материалов и континуальная механика повреждений: ДАН России. 2001 -376 №6, с.760-762. 8. Lemaitre J. Mechanics of solids materials. Springer-Verlag, 1994. 9. Леметр Ж. Континуальная модель повреждения, используемая для расчета разрушения пластичных материалов.// Теоретические основы. №1. – 1985. – т.108. – С.90 – 98. 10. Hansen N.R., Schreyer H.L., A thermodynamically consistent framework for theories of elastoplasticity coupled with damage // Int. J. Solids Structures, vol. 31, No.3, 1994. – P. 359-389. 11. Бобир М.І., Грабовський А.П., Тимошенко О.В. Спосіб визначення кінетики руйнування матеріалів в процесі їх пружно-пластичного деформування. Патент України №65499А Бюл. №3, 15.03.2004. 12. Бобир М.І., Масло О.М. Узагальнена феноменологічна модель пошкоджуваності при складному навантаженні // Вісник НТУУ "КПІ". - 2003.– №4.– С. 26-29.

Сдано в редакцию 10.05.06
Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТА СИНТЕЗА КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Богатырева Г.П., Майстренко А.Л., Олейник Н.А., Базалий Г.А., Зайцева И.Н.
(ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина)

The article is dedicated to the research of influents the technological factors at characteristics of compositional technological material and methods of increase ecology and economy of treatment the product of cubic boron nitride synthesis.

Введение. Порошки кубического нитрида бора получают путем переработки продукта технологического назначения, который образуется в процессе синтеза кубического нитрида бора (сBN) и содержит кристаллы и их сростки с сBN до 25 % по массе, гексагональный нитрид бора (hBN) до 50 %, металлсодержащие фазы ($Mg_3B_2N_4$, MgB_2 , h- Mg_3BN_3 , l- Mg_3BN_3 , MgO , оксиды и гидроксиды бора B_2O_3 , $B(OH)_3$, HBO_2) до 25 % по массе [1].

Традиционно переработку продукта начинают дроблением спеков до крупности фрагментов 1–3 мм, далее проводят обработку химическими методами, направленную на растворение металлсодержащих фаз, окисление гексагонального нитрида бора и очистку сырья cBN от примесей. Переработка продукта синтеза таким способом экологически опасна, требует значительного расхода химических реактивов: до 10 кг гидратов окиси калия и натрия, и до 1,7 кг кислот на 1000 карат cBN [2].

Известны способы переработки продукта синтеза, которые включают дробление, химическую обработку и разделение гексагонального и кубического нитрида бора гравитационным или флотационным методом [2]. Такой подход приводит к удешевлению процесса и повышению экологической безопасности. Эффективность разделения зависит от степени раскрытия и однородности по крупности продукта синтеза. Другими словами cBN и hBN должны находиться в свободном состоянии, а их распределение по крупности должно иметь наиболее узкий интервал размеров. Таким образом, развитие технологий переработки продукта синтеза cBN должно основываться на развитии способов раскрытия и разделения, составляющих продукта синтеза с учетом эколого-экономической эффективности переработки.

Цель настоящей работы состоит в исследовании влияния способов подготовки материала к флотационному разделению cBN и hBN на технологические характеристики материала и эколого-экономическую эффективность переработки продукта синтеза.

Методология исследования. Исследования проведены на продукте синтеза (ПС) cBN, предназначенном для производства микропорошков кубического нитрида бора, любезно предоставленном А.И.Боримским зав. лабораторией “перспективных АВД для синтеза высокопрочных сверхтвердых материалов” ИСМ НАН Украины.

Партию продукта синтеза подробили на щековой дробилке до крупности фрагментов менее 3 мм и разделили на две части. Одну часть материала обработали по базовой технологии, включающей растворение металлсодержащих фаз и окисление hBN. Другую часть материала обрабатывали по экспериментальным технологиям: подробили до крупности фрагментов менее 0,8 мм в универсальной роторной дробилке, растворили металлсодержащие фазы и разделили полученный продукт на три части. Две из них подробили в универсальной роторной дробилке до крупности фрагментов менее 0,3 мм. Одну часть материала после дробления обработали смесью серной и азотной кислот. Далее, произвели флотационное разделение cBN и hBN каждой части дисперсного материала с получением концентрата cBN и пенного продукта, содержащего в основном hBN. Из полученного концентрата удалили hBN, окислив его в процессе щелочного сплавления. Провели контрольную очистку сырья cBN от примесей.

Ситовым методом определили распределение по крупности фрагментов разрушенных спеков, а также извлеченного сырья cBN. Степень раскрытия ПС cBN, позволяющую судить об эффективности подготовки материала для осуществления разделительных процессов, определяли по критерию Фоменко $E_{\phi} = \varepsilon_{cBN}^{кт} \varepsilon_{hBN}^{пена}$ [3], который рассчитывали по результатам флотационного разделения на ультразвуковой флотационной машине.

В процессе обработки материала фиксировали расход химических реагентов, время обработки, баланс по массе, потери cBN, количество hBN, извлеченного в процессе обработки и пригодного для последующего использования. Исходя из полученных результатов, рассчитывали эколого-экономическую эффективность переработки. Результаты, полученные при обработке по экспериментальным технологиям, сравнивали с результатами обработки материала по базовой технологии.

Обсуждение результатов.

Гранулометрический состав материала после первичного дробления представлен на рис. 1. Как видно из рис. 1, материал после дробления до 3 мм распределяется в интервале 0–3000 мкм, дробление до 0,8 мм (рис. 2) изменяет распределение. Материал усредняется по крупности, распределяясь в интервале 0–1000 мкм, химическая обработка, как в первом, так и во втором случае также приводит к усреднению материала по крупности, граница распределения смещается в область мелких фракций (рис. 1, 2). Аналогично происходит и распределение сBN по фракциям крупности (рис. 3, 4). Основная масса сBN концентрируется в интервале 0–300 мкм. В этом интервале крупности присутствует в первом случае до 75 %, а во втором случае до 90 % массы ПС. Распределение по крупности материала после химической обработки близко к распределению извлеченного сырья сBN.

Крупность дробления и последовательность обработок сказываются на степени раскрытия ПС. Степень раскрытия ПС возрастает от 0,60 (при обработке по базовой технологии) до 0,89 при обработке по экспериментальной технологии (табл. 1). Флотационное разделение сBN и hBN с высокой степенью раскрытия позволяет получать не только кондиционный концентрат сBN (массовая доля сBN составляет до 95 %), но и получать побочный продукт с высоким содержанием hBN (до 90 % по массе).

Эколого-экономические показатели технологий приведены также в табл. 1.

В отличие от базовой технологии, по которой не предусмотрено получение продукта hBN, экспериментальная технология со стадийным дроблением, обработкой смесью серной и азотной кислот и флотационным разделением позволяет вывести их технологического процесса до 30 % массы hBN, пригодного для повторного использования.

Применение экспериментальных технологий в сравнении с базовой технологией позволяют снизить экологическую опасность процесса переработки ПС сBN за счет сокращения расхода химических реагентов 1 и 2 классов опасности при сохранении стабильного уровня времени обработки и технологических потерь сBN. Наилучшие эколого-экономические показатели достигают при обработке материала по технологии со стадийным дроблением, обработкой смесью серной и азотной кислот и флотационным разделением, а именно, расход минеральных кислот сокращается в 1,5 раза, гидроксидов в 3,5 раза, хромового ангидрида в 5 раз. Применение этой технологии обеспечивает снижение затрат на реактивы для химической обработки на 59 %, что приводит к снижению себестоимости получения порошков сBN.

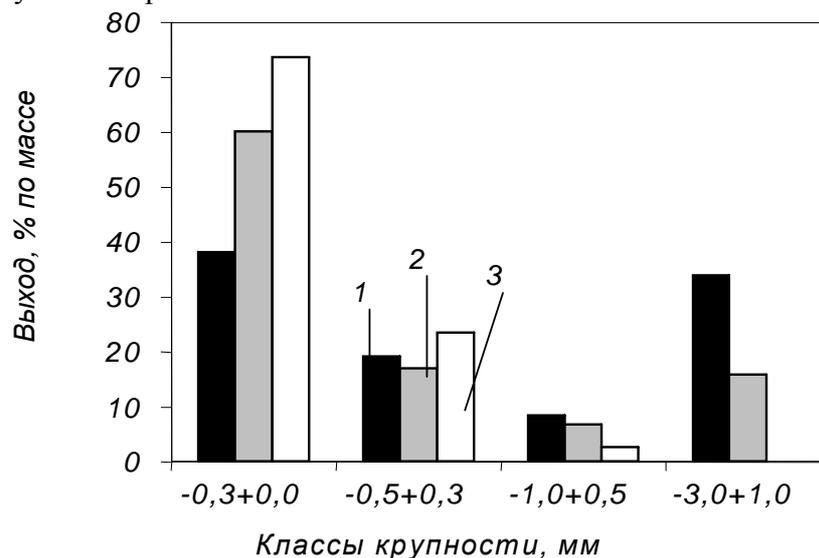


Рис. 1. Ситовая характеристика продукта синтеза кубического нитрида бора после дробления до крупности фрагментов –3 мм (1), последующего удаления растворимых фаз (2), механической дезинтеграции (3).

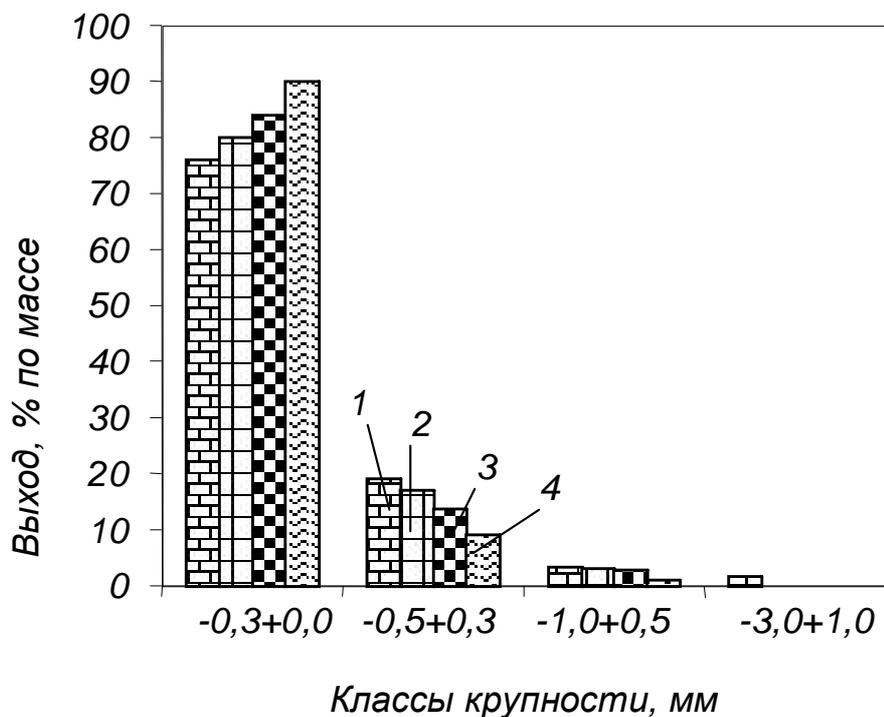


Рис. 2. Ситовая характеристика продукта синтеза кубического нитрида бора после стадийного дробления до крупности фрагментов $-0,8$ мм (1), последующего удаления растворимых фаз (2), механической дезинтеграции (3), химической дезинтеграции (4).

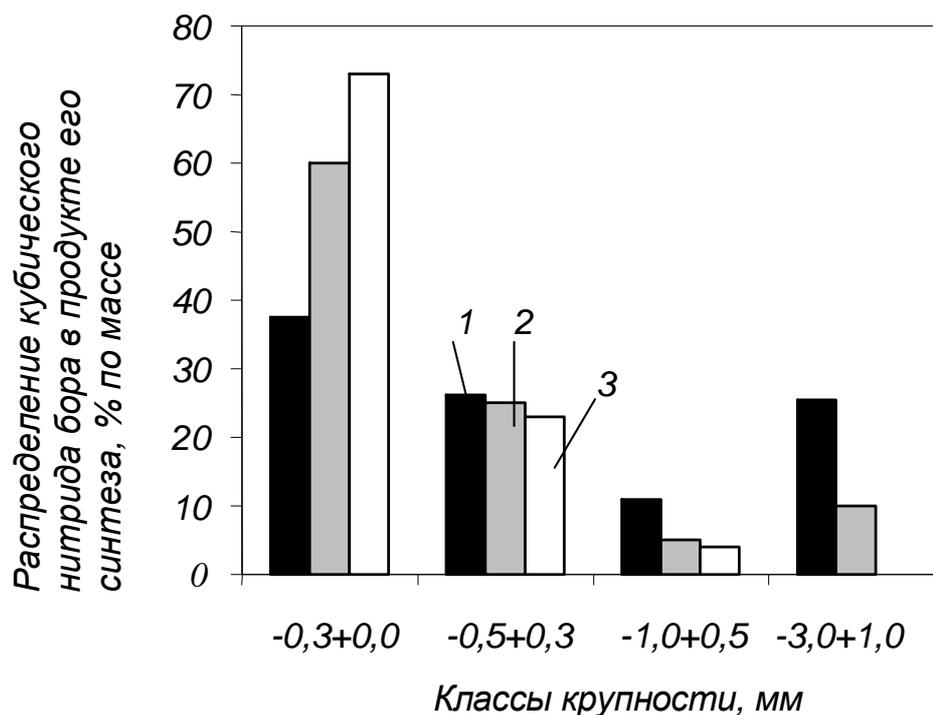


Рис. 3. Распределение кубического нитрида бора в продукте его синтеза после дробления до крупности фрагментов -3 мм (1), последующего удаления растворимых фаз (2), механической дезинтеграции (3).

Таблица 1. Эколого-экономическая эффективность переработки продукта синтеза (ПС) кубического нитрида бора

| Способ переработки ПС кубического нитрида бора | | Степень раскрытия ПС после дробления, удаления растворимых фаз, дезинтеграции, усл.ед. | Количество извлекаемого гексагонального нитрида бора, % по массе от содержания в исходном ПС | Расход химических реактивов, усл.ед./1000карат | | Затраты (стоимость) на химические реактивы, усл.ед. |
|--|--|--|--|--|-----|---|
| Базовая технология | Дробление до крупности фрагментов –3,0 мм, удаление растворимых фаз, окисление гексагонального нитрида бора | 0,60 | 0 | Кислоты | 6,0 | 1 |
| | | | | Гидроксиды | 1,8 | |
| | | | | Ангидрид хромовый | 0,5 | |
| | | | | Аммиачная селитра | 0,2 | |
| Экспериментальные технологии | Дробление до крупности фрагментов –3,0 мм, удаление растворимых фаз, механическая дезинтеграция, флотационное обогащение, окисление гексагонального нитрида бора | 0,65 | 5,0 | Кислоты | 5,2 | 0,69 |
| | | | | Гидроксиды | 1,6 | |
| | | | | Ангидрид хромовый | 0,1 | |
| | Дробление до крупности фрагментов –0,8 мм, удаление растворимых фаз, флотационное обогащение, окисление гексагонального нитрида бора | 0,74 | 10,0 | Кислоты | 2,5 | 0,44 |
| | | | | Гидроксиды | 1,1 | |
| | | | | Ангидрид хромовый | 0,1 | |
| | Дробление до крупности фрагментов –0,8 мм, удаление растворимых фаз, механическая дезинтеграция, флотационное обогащение, окисление гексагонального нитрида бора | 0,81 | 15,0 | Кислоты | 2,5 | 0,40 |
| | | | | Гидроксиды | 1,0 | |
| | | | | Ангидрид хромовый | 0,1 | |
| | Дробление до крупности фрагментов –0,8 мм, удаление растворимых фаз, механическая и последующая химическая дезинтеграции, флотационное обогащение окисление гексагонального нитрида бора | 0,89 | 30,0 | Кислоты | 4,8 | 0,41 |
| | | | | Гидроксиды | 0,6 | |
| | | | | Ангидрид хромовый | 0,1 | |

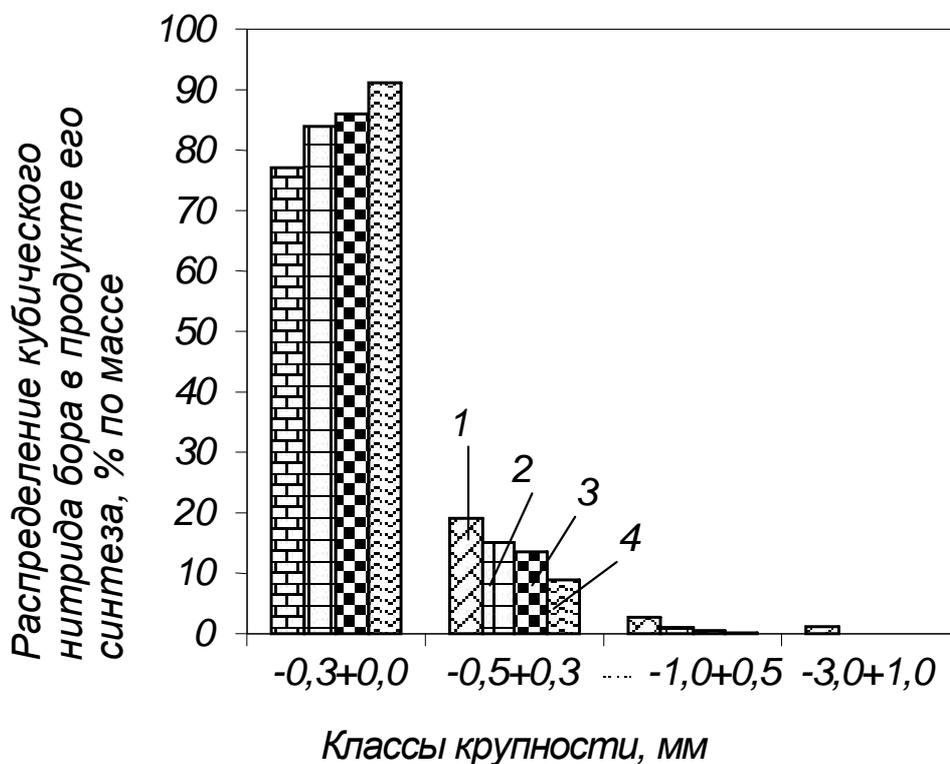


Рис. 4. Распределение кубического нитрида бора в продукте его синтеза после стадийного дробления до крупности фрагментов $-0,8$ мм (1), последующего удаления растворимых фаз (2), механической дезинтеграции (3), химической дезинтеграции (4).

Вывод. Экспериментальными исследованиями показано, что, применяя технологии переработки ПС cBN, включающие стадийное дробление, обработку смесью серной и азотной кислотами, флотационное разделение, можно направлено изменять распределение материала по крупности (усреднять материал), достигая высокую степень раскрытия. Это является условиями, гарантирующими эффективное применение флотационного разделения cBN и hBN, и, следовательно, повышает эколого-экономическую эффективность переработки ПС cBN.

Список литературы: 1. Туркевич В.З., Богатырева Г.П., Олейник Н.А. и др. Исследование фазового состава продукта синтеза кубического нитрида бора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. Вып. 8. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2005. – С.132-135. 2. Богатырева Г.П., Олейник Н.А., Петасюк Г.А. и др. Влияние механических и химических воздействий на мероморфные характеристики и степень раскрытия продукта синтеза кубического нитрида бора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. Вып. 8. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2005. – С.122-125. 3. Богатырева Г.П., Олейник Н.А. Выбор критерия оценки раскрытия продукта синтеза // Сверхтвердые материалы. – 1995. – №1. – С.65-70.

Сдано в редакцию 24.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.