

УДК 548: 535.4

Исследование «in situ» структуры ТАТБ дифракционными методами СИ*

К.А. ТЕН, Э.Р. ПРУУЭЛ, Л.А. ЛУКЪЯНЧИКОВ, Б.П. ТОЛОЧКО, М.Р. ШАРАФУТДИНОВ,
А.Н. ШМАКОВ, Ю.А. АМИНОВ, А.К. МУЗЫРЯ, О.В. КОСТИЦЫН, Е.Б. СМЕРНОВ

Дифракционные методики исследования образцов позволяют определять их внутренние параметры без нарушения целостности. В работе изложены результаты дифракционных исследований взрывчатых материалов на основе 1,3,5-триамино-2,4,6-тринитробензола (ТАТБ) с использованием синхротронного излучения от ускорительного комплекса ВЭПП-3 (энергия 2 ГэВ, Институт ядерной физики, Новосибирск). Приводятся результаты измерения малоуглового рентгеновского рассеяния синхротронного излучения ($E = 8,2$ кэВ) при изменении температуры образцов от 27 до 240 °С для разных плотностей образцов. По этим данным получено внутреннее распределение неоднородностей в диапазоне 2–10 нм в зависимости от температуры и плотности. Изменение размеров кристаллической решетки ТАТБ проводилось путем измерения дифракционных рефлексов при изобарическом нагреве до 240 °С в диапазоне углов 4...60 град. Увеличение расстояния между слоями при нагреве составляет $\Delta d = 0,01615$ нм, при нормальном расстоянии $d = 0,35404$ нм. В алмазных наковальнях проведено изотермическое сжатие образцов до давлений 6,5 ГПа. Получено изменение расстояния между слоями кристаллической решетки ТАТБ $\Delta d = 0,011$ нм при изменении внешнего давления до 6,5 ГПа.

Ключевые слова: синхротронное излучение, мало-угловое рентгеновское рассеяние, кристаллическая решетка, дифракционные рефлексы, ТАТБ.

ВВЕДЕНИЕ

Внутренние параметры исходных взрывчатых материалов (ВМ) сильно влияют на их детонационные характеристики. Наличие пустот (пор) и их распределение по размерам влияют не только на условия инициирования, но и на максимальные параметры в кумулятивных процессах. Контроль таких параметров как распределение неоднородностей по размерам, а также изменение параметров кристаллической решетки в зависимости от температуры является в настоящее время актуальной задачей. Дифракционные методики исследования ТАТБ позволяют определять внутренние параметры ВВ без нарушения целостности образца. Объектом исследования являлись новые, перспективные для промышленности, взрывчатые составы, изготовленные на основе 1,3,5-триамино-2,4,6-тринитробензола (ТАТБ). Особенностью ТАТБ является более высокая рабочая температурная стойкость, а также способность разлагаться (без взрыва) при дальнейшем нагревании [1].

Впервые синхротронное излучение для исследования внутренней структуры ВМ было использовано в Lawrence Livermore National Laboratory [2]. В работах [3, 4] приведены данные о внутренней структуре (неоднородностях) американских составов на основе ТАТБ выполненные на ускорителе Advanced Photon Source в Argonne National Laboratory. В нашей стране СИ в этом направлении было впервые использовано в ИЯФе на накопителе ВЭПП-3 [4]. Неоднородности размером до 3–5 мкм выявлялись методом рентгеновской микротомографии [5].

Ниже приведены результаты исследования внутренней структуры образцов из ТАТБ тремя дифракционными методиками.

1. Методом мало-углового рассеяния (МУРР) синхротронного излучения при нагреве от 27 °С до 240 °С и последующем остывании. Особенностью данной работы является использо-

* Статья получена 10 октября 2012 года.

Работа выполнена при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ и финансовой поддержке Минобрнауки России, грантов РФФИ № 10-08-00859, 11-03-00874, а также ВНИИТФ.

вание монохроматического пучка ($E = 8,2$ кэВ) и двухкоординатного детектора Mar Research Sx165.

2. Измерение структуры кристаллов ТАТБ проводилось путем измерения угла отклонения дифракционных пиков на большие углы (до 90°) с использованием детектора ОД-3М (3000 приемных каналов). При изменении температуры на 213°C чувствительность данной методики составляет $1,5^\circ\text{C}$.

3. Измерение структуры кристаллов ТАТБ при изотермическом сжатии до $6,5$ ГПа в алмазных наковальнях.

1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Измерение малоуглового рентгеновского рассеяния при нагревании ТАТБ

Регистрация МУРР проводилась на станции малоуглового рентгеновского рассеяния в бункере ВЭПП-3. Общий вид станции приведен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид станции регистрации малоуглового рассеяния:

1 – коллиматор; 2 – образец; 3 – детектор; 4 – табло настроек

Особенностью работы на этой станции является использование монохроматического пучка ($E = 8,2$ кэВ) с малыми размерами ($0,3 \times 0,3$ мм) пучка СИ. Исследовались образцы ТАТБ с начальной плотностью $\rho = 1,91$ г/см³ и $1,87$ г/см³, размерами 4×4 мм и толщиной $0,5$ мм. Прямой пучок зарезался диском диаметром 5 мм, расположенном на расстоянии 385 мм от образца. Для регистрации малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) использовался двухкоординатный детектор Mar Research S $\times$ 165. Детектор имеет 2048×2048 пикселей (ячеек) размером 80×80 микрон. Внешняя апертура детектора (приемная часть) равна 165 мм. Расстояние от образца до детектора – 395 мм.

Минимальный угол при настройке измерений МУРР составлял $2\theta_{\min} = 0,0063$ рад = $6,3$ мрад. Этому углу соответствует максимально измеряемый размер полости $d_{\max} = \pi/q_{\min}$, где вектор рассеяния $q_{\min} = 4 \cdot \pi \cdot \sin(\theta_{\min}) / \lambda = 0,261$ при $\lambda = 0,1516$ нм. Отсюда для максимального размера получаем $d_{\max} = \pi/q_{\min} = 12,0$ нм.

Аналогично, для минимального размера полостей имеем $d_{\min} = \pi/q_{\max}$, где $q_{\max} = 4 \cdot \pi \cdot \sin(\theta_{\max}) / \lambda$. Максимально измеряемый угол $2\theta_{\max} = 0,2$ рад, однако реально наблюдаемый сигнал был только в диапазоне углов $2\theta_{\max} = 0,036$ рад, что соответствует

$q_{\max} = 4 \cdot \pi \cdot \sin(\theta_{\max}) / \lambda = 1.5$ и, следовательно, максимальному размеру полости $d_{\min} = \pi / q_{\max} = 2$ нм. Таким образом, данные настройки станции позволяют измерять методом МУРР размеры неоднородностей (полостей) от 2 нм до 12 нм.

Измерения проводились при изменении температуры от комнатной (27 °C) до 250 °C. Темп нагрева составлял ~ 1 град/мин. Длина волны монохроматора $\lambda = 1.516 \text{ \AA} = 0.1516 \text{ нм}$ (энергия СИ равна 8.2 кэВ). Характерный вид дифрактограммы приведен на рис. 2 (при $T = 27 \text{ °C}$). После интегрирования по кругу были получены кривые МУРР в зависимости от угла рассеяния 2θ для измеренных температур (рис. 3). При нагревании образцов сигналы МУРР растут, что связано с ростом неоднородностей внутри образца.

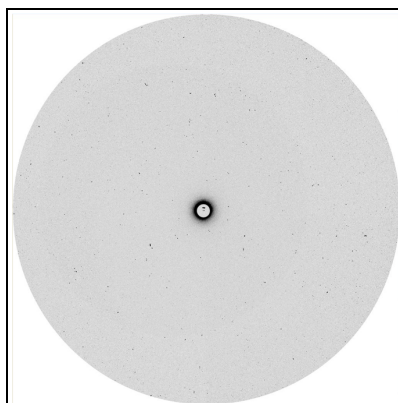


Рис. 2. Экспериментальная запись МУРР на детекторе Mar Research S×165

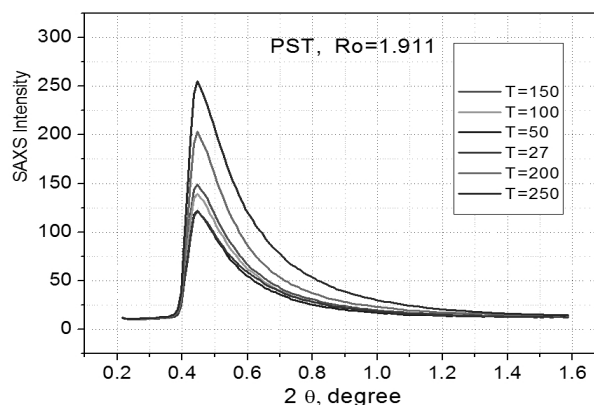


Рис. 3. Распределение малоуглового рассеяния СИ для ТАТБ в зависимости от температуры. Плотность образца 1,91 г/см³

Для обработки кривых МУРР использовалась программа GNOM [6].

При расчете распределений пор по размерам предполагалось, что неоднородности сферические. Выходными данными были объем занимаемый неоднородностями. $\text{Volume} = 4\pi R^3/3 \cdot N(R)$, где $N(R)$ – относительное число неоднородностей. На рис. 4 приведены кривые объема Volume для двух образцов с разными плотностями ($C - 1.91 \text{ г/см}^3$ и $H - 1.87 \text{ г/см}^3$). Цветными линиями показаны расчетные ошибки измерений. Видно, что методика очень чувствительна к изменению начальной плотности образца. При изменении плотности на 0.041 г/см^3 (т. е. $\Delta\rho/\rho = 0.021$) объем пор увеличивается в 1.83 раза.

На рис. 4 видно, что при нагревании образца заметно увеличивается величина МУРР, которая зависит от числа и размеров внутренних неоднородностей.

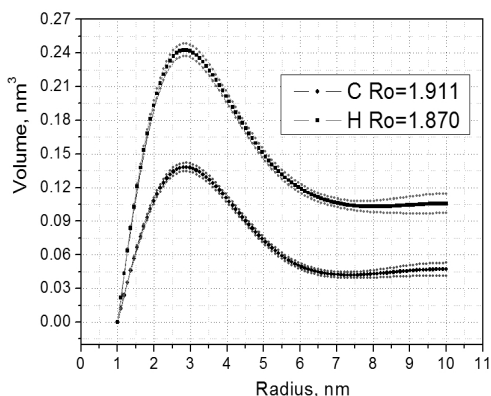


Рис. 4. Зависимость общего объема пор от их размера для разных плотностей ТАТБ

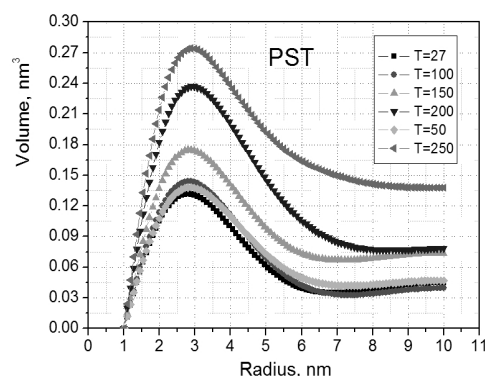


Рис. 5. Зависимость общего объема пор от их размера при нагреве ТАТБ

На рис. 5 приведены зависимости объема пор при изменении температуры для образца ТАТБ с плотностью $1,91 \text{ г/см}^3$. Объем пор заметно растет с ростом температуры. Следует отметить, что при более точной калибровке в экспериментах, из распределений по объему можно получить общее (полное) количество пор в единице объема образца, которое тоже будет сильнее зависеть от температуры, чем относительное распределение.

1.2. Исследование кристаллической структуры образцов из ВВ на основе ТАТБ при нагреве до 240°C

Измерение структуры кристаллов ТАТБ проводилось на станции «Прецизионная дифрактометрия II» накопителя ВЭПП-3 (рис. 6). Термостат станции (фирмы Anton Paar XRK900) может обеспечивать заданный темп нагрева и контроль температуры с точностью 1 %. Термостат имеет водяное охлаждение и максимальную рабочую температуру 700°C . Дифрактограмма снималась для образца ТАТБ с плотностью $\rho = 1,819 \text{ г/см}^3$. Диаметр заряда стачивался с 20 мм до 15 мм (до размера кюветы, рис. 7). Толщина исследуемого образца 2 мм. Было приготовлено два идентичных образца.

Измеряемые углы на детекторе OD-3M составляет $\sim 30^\circ$ (3000 каналов детектора), то измерения проводились в два этапа: 1) в диапазоне $30\text{--}60^\circ$, и 2) в диапазоне $25\text{--}55^\circ$. Для точной привязки дифракционных пиков была проведена калибровка образцов в диапазоне $10\text{--}90^\circ$ (рис. 8). Главный максимум соответствует углу $2\theta = 28,3^\circ$ (точность $\pm 0,015^\circ$). Второй $2\theta = 58,5^\circ$.

В обоих случаях проводились измерения угла отклонения дифракционных пиков при изменении температуры образца от $T_0 = 27^\circ\text{C}$ (комнатная температура). Нагрев проводился с темпом 1°град/мин по 20 минут (т. е. на 20°). Потом делалась выдержка в течение 20 мин. Затем снова нагрев на 20° и т. д. Конечная температура образца составила 240°C . После выдержки в 20 мин, образец сам остывал в течении 30 мин. Во время остывания дифрактограмма измерялась через каждые 5 мин.

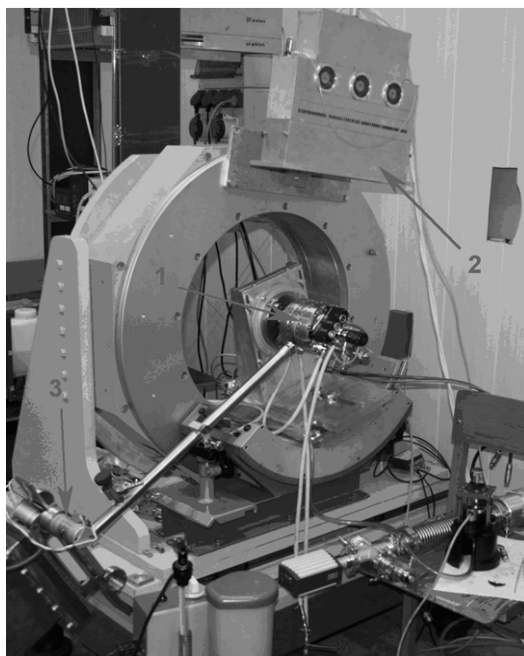


Рис. 6. Общий вид станции «Прецизионная дифрактометрия II»:

1 – термостат с образцом; 2 – детектор OD-3M;
3 – затвор

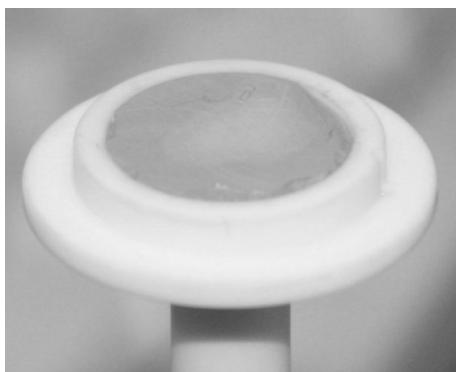


Рис. 7. Вид образца ТАТБ перед установкой в термостат. Диаметр 15 мм, толщина 2 мм

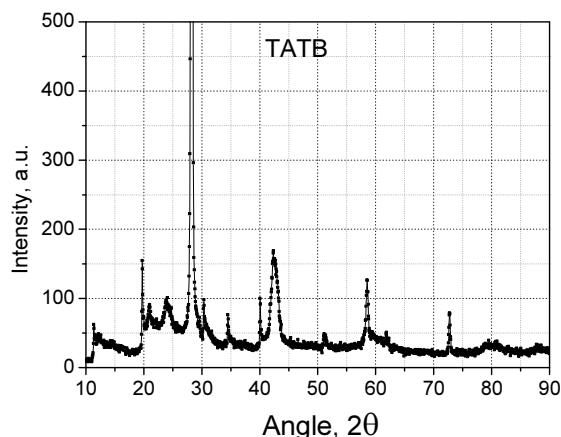


Рис. 8. Калибровочная дифрактограмма ТАТБ. Главный максимум соответствует углу рассеяния $2\theta = 28,300^\circ$

На рис. 9 приведена динамика положения главного пика в зависимости от температуры, а на рис. 10 показаны начальное и конечное положения пиков. Равномерное увеличение температуры образца, приводит к линейному сдвигу положения пика. При увеличении температуры образца на 213° , положение пика сдвинулось на $1,45^\circ$.

Расстояние между слоями ТАТБ находится из формулы $2d \sin(\theta) = \lambda$, где $\lambda = 1,731 \text{ \AA}$ – длина волны монохроматора. Первому пику соответствует $d = 3,5404 \text{ \AA}$.

При $T = 240^\circ\text{C}$ угол $2\theta = 27,0417^\circ$, этому углу соответствует расстояние между слоями $d_2 = 3,70189 \text{ \AA}$. При нагреве изменение угла 2θ составляет $1,25832^\circ\text{C}$. В наших настройках этому изменению угла соответствует 147 делений детектора OD-3М, или $1,45^\circ\text{C}$ на одно деление детектора. Таким образом, чувствительность данной методики (при изменении температуры) составляет $1,45^\circ\text{C/дел.}$

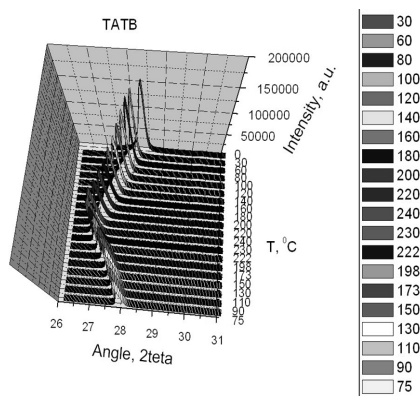


Рис. 9. Изменение положения главного максимума (пика) при нагреве до 240°C и последующем охлаждении

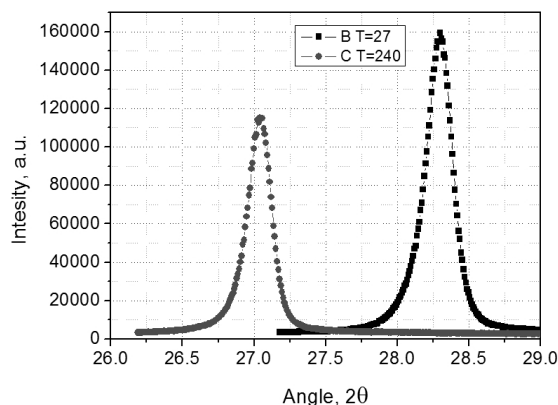


Рис. 10. Положение пиков (диапазон углов $2\theta = 26\text{--}29^\circ$) при комнатной температуре ($T = 27^\circ\text{C}$) и при нагреве до $T = 240^\circ\text{C}$

Увеличение расстояния (сдвиг) между слоями при нагреве составляет $\Delta d = 0,1615 \text{ \AA}$. Относительное смещение составляет $\frac{\Delta d}{d} = 0,046$. Угол θ определяется с точностью $\Delta\theta = 0,03^\circ$, (90° на 3000 каналов детектора). Длина волны $\lambda = 1,731$ определяется с точностью 10^{-4} . Точность определения d зависит от точности определения λ и угла θ , и равна

$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \theta}{\theta}\right)^2} = \sqrt{(10^{-8})^2 + (0,01)^2} = 0,01$, т. е. абсолютная точность определения межплоскостных расстояний $\Delta d = 3,54 \cdot 0,01 = 0,035 \text{ \AA}$.

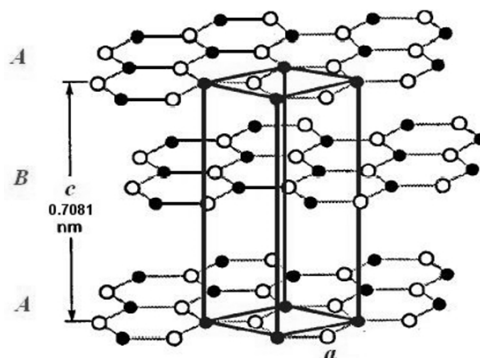


Рис. 11. Параметр С кристаллической решетки ТАТБ равен двойному расстоянию между слоями А и В

Параметр С кристаллической решетки ТАТБ (рис. 11) равен удвоенному расстоянию между слоями и равен $C = 0,7081 \text{ нм}$.

1.3. Измерение структуры кристаллов ТАТБ при сжатии в алмазных наковальнях

Исследования проводились на станции «Дифрактометрия при высоких давлениях», расположенной на канале № 4 накопителя ВЭПП-3. Схема измерений приведена на рис. 12. Образец (порошок ТАТБ) помещался внутри металлической гаскеты, которая обжималась между двумя алмазными наковальнями.

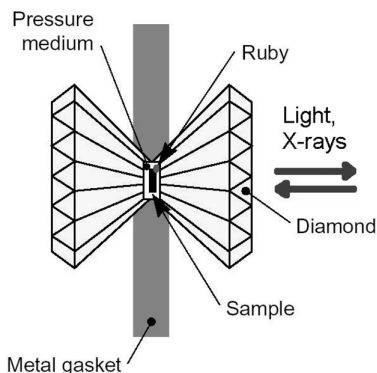


Рис. 12. Схема измерений дифракционных рефлексов при сжатии в алмазных наковальнях

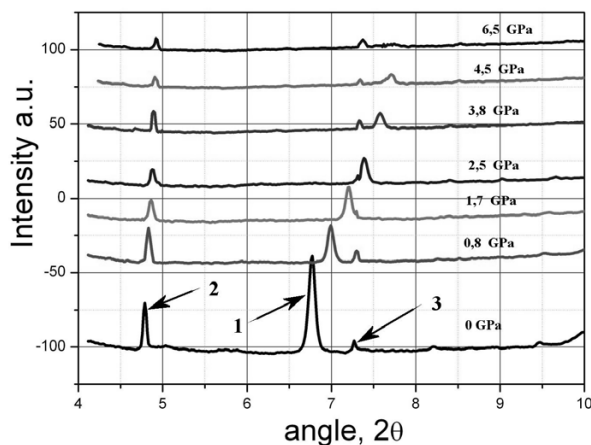


Рис. 13. Дифрактограммы ТАТБ при изотермическом сжатии до давлений 6,5 ГПа (по оси x – угол рассеяния излучения 2θ (в градусах), по оси y – относительная интенсивность излучения). 1, 2 и 3 – исследуемые пики

Для получения равномерного сжатия порошок ТАТБ помещался в жидкость (смесь метанола/этанол (в соотношении 10/1)). Калибровка давления проводилась по смещению линий у кристалла рубина, помещенного рядом с образцом внутри металлической обоймы.

Начальная плотность порошка ТАТБ составляла $1,1 \text{ г/см}^3$, измерения проводились при температуре $T_0 = 27^\circ\text{C}$, время экспозиции составляло от 1 часа до 4 часов. Проведено две серии экспериментов: в первой давление поднималось до 3,15 ГПа, во второй – до 6,5 ГПа.

На рис. 13 видно смещение самого большого пика 1 (при угле $2\theta = 6,84^\circ$), пика 2 ($2\theta = 4,7879^\circ$) и пика 3 ($2\theta = 7,2845^\circ$). Пик 1 не только смещается, но и полностью исчезает при давлениях свыше 4,5 ГПа. Это могло быть связано с аморфизацией исходной структуры ТАТБ. Поэтому для оценки стабильности образца при давлении выше 50 кбар проведена пробная дифракционная съемка при $P = 68 \text{ кбар}$. В полученной дебаеграмме были зарегистрированы только пик 2 ($2\theta = 4,9193^\circ$) и пик 3 ($2\theta = 7,3568^\circ$). Поскольку в этих измерениях использовалась длина волны $\lambda = 0,03685 \text{ нм}$, то пик 3 соответствует межплоскостному расстоянию $d = 0,354 \text{ нм}$, что совпадает с данными на рис.11. Пик 2 соответствует второму размеру кристаллической решетки, который у нас равен $B = 0,29 \text{ нм}$. Анализ результатов показал, что первый пик появляется из-за упорядоченного расположения порошка ТАТБ (порошок состоит из упорядоченных групп кристаллов). При повышении давления порошок распределяется равномерно и этот пик исчезает. Такой же пик был замечен в [7], а также более подробно исследован в [8].

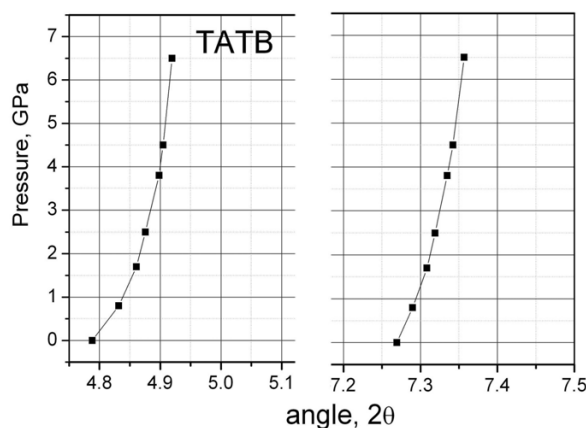


Рис. 14. Изменение положения главных пиков (2 – слева, 3 – справа) при повышении внешнего давления в ТАТБ

На рис. 14 показано смещение основных рефлексов 2 и 3 при изменении давления от 0,1 МПа до 6,5 ГПа. Данным смещениям угла соответствуют смещения между слоями $\Delta d_{AB} = 0,011 \text{ нм}$ и внутри слоя $\Delta d_3 = 0,003 \text{ нм}$. Для вычисления изменения объема кристаллической решетки необходимо измерение еще одного (третьего) размера, который в наших экспериментах измерить не удалось. В предположении, что третий размер изменяется аналогично второму, изменение объема совпадает с данными [7], сделанными для американских образцов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение распределений МУРР позволяет определить объемное распределение плотности неоднородностей (пор) внутри образца (без разрушения) от 2 нм до 10 нм. При изменении плотности $\Delta\rho/\rho = 0,021$ объем пор увеличивается в 1.83 раза. При изменении температуры от 27°C до 240°C объемное распределение плотности увеличивается в более чем два раза. Для увеличения диапазона измерений до 100 нм необходимо уменьшить минимальный угол регистрации. Дальнейшее увеличение регистрируемых неоднородностей (до 1–2 мкм) требует создания новой станции для регистрации ультрамалых углов рентгеновского рассеяния.

Измерение дифракционных рефлексов позволяет измерять положение рефлексов с точностью 10^{-2}° , что позволяет измерять межплоскостные расстояния с точностью до $0.03 \text{ \AA}$. Методика чувствительна к изменению температуры образца. Смещение пиков фиксируется при изменении температуры на 1.45°C . Представляет интерес измерение межплоскостных рас-

стояний у составов на основе ТАТБ при различных начальных плотностях и разных темпов нагрева (в том числе и периодических), а также влияния времени выдержки при повышенных температурах на изменение параметров решетки.

Получены изменения двух размеров кристаллической структуры ТАТБ до давлений 6.5 ГПа при изотермическом сжатии. В процессе сжатия порошка ТАТБ в жидкости происходит перестройка упорядоченных групп кристаллов ТАТБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гармашева Н.В. Некоторые особенности разложения ТАТБ при нагревании / Н.В. Гармашева, В.П. Филин, И.В. Чемагина и др. // Труды Международной конференции «VII Забыхинские научные чтения». РФЯЦ-ВНИИТФ. – Снежинск, 2003. – С. 2–29.
- [2] Willey Trevor M., van Buuren Tony, Lee Jonathan R. at al. Changes in Pore Size Distribution upon Thermal Cycling of TATB-based Explosives Measured by Ultra-Small Angle X-Ray Scattering. Propellants, Explosives, Pyrotechnics. – 2006. – Vol. 31. – № 6. – P. 466–471.
- [3] Willey T.M. Towards Next Generation TATB-based Explosives by Understanding Voids and Microstructure from 10 nm to 1 cm / T.M. Willey, G. Overturf // 40th International Annual Conference of ICT Karlsruhe, Germany. June 26, 2009.
- [4] Kuper K.E. High explosives examination by high-resolution X-ray computed tomography on the VEPP-3 synchrotron radiation / K.E. Kuper, K.A. Ten, E.R. Pruuel // Physics of Extreme states of Matter-2009. Edited by Fortov V.E. at al. Institute of Problems of Chemical Physics, RAS. Chernogolovka, 2009. – P. 130–132.
- [5] Купер К.Э. Рентгеновская микротомография на пучках СИ зарядов ТАТБ / К.Э. Купер, К.А. Тен, Э.Р. Прууэл at al. // Труды Международной конференции «X Забыхинские научные чтения». РФ-ЯЦ – ВНИИТФ, Снежинск. 2010. – С. 101–103.
- [6] Svergun D. Program Package GNOM. Small-Angle Scattering Data Processing by Means of the Regularization Technique / D. Svergun, A. Semenyuk. – DESY, Hamburg, Germany, 2011.
- [7] Stevens Lewis L. Hydrostatic Compression Curve for Triamino-Trinitrobenzene Determined to 13.0 GPa with Powder X-Ray Diffraction / Stevens Lewis L., Velisavljevic Nenad, Hooks Daniel E., Dattelbaum Dana M. // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. – 2008. – Vol. 33. – № 4. – P. 286–295.
- [8] Туманов Н.А. Совместное применение монокристалльной и порошковой рентгеновской дифракции в проблемных случаях исследования новых, в том числе, метастабильных фаз молекулярных кристаллов: дис. ... канд. хим. Наук / Н.А. Туманов. – Новосибирск: НГУ, 2010. – 190 с.

REFERENCES

- [1] Garmasheva N.V., Filin V.P., Chemagina I.V. i dr. Nekotorye osobennosti razlozheniya TATB pri nagrevanii. Trudy Mezhdunarodnoj konferencii «VII Zababahinskie nauchnye chtenija». RFJaC-VNIITF, Snezhinsk, 2003. Str. 2–29.
- [2] Willey Trevor M., van Buuren Tony, Lee Jonathan R. at al. Changes in Pore Size Distribution upon Thermal Cycling of TATB-based Explosives Measured by Ultra-Small Angle X-Ray Scattering. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, V. 31, No. 6, 2006. P. 466–471.
- [3] Willey T.M., Overturf G. Towards Next Generation TATB-based Explosives by Understanding Voids and Microstructure from 10 nm to 1 cm. 40th International Annual Conference of ICT Karlsruhe, Germany. June 26, 2009.
- [4] Kuper K.E., K.A. Ten, E.R. Pruuel. High explosives examination by high-resolution X-ray computed tomography on the VEPP-3 synchrotron radiation. // Physics of Extreme states of Matter-2009. Edited by Fortov V.E. at al. Institute of Problems of Chemical Physics, RAS. Chernogolovka, 2009. pp. 130–132.
- [5] Kuper K.E., Ten K.A., Pruuel Je.R. at al. Rentgenovskaja mikrotomografija na puchkah SI zarjadov TATB. Trudy Mezhdunarodnoj konferencii «X Zababahinskie Nauchnye Chtenija». RF-JaC – VNIITF, Snezhinsk. 2010, Str. 101–103.
- [6] Svergun D., Semenyuk A. Program Package GNOM. Small-Angle Scattering Data Processing by Means of the Regularization Technique. DESY, Hamburg, Germany, 2011.
- [7] Stevens Lewis L., Velisavljevic Nenad, Hooks Daniel E., Dattelbaum Dana M. Hydrostatic Compression Curve for Triamino-Trinitrobenzene Determined to 13.0 GPa with Powder X-Ray Diffraction. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, V. 33, No. 4, 2008. P. 286–295.
- [8] Tumanov N.A. Sovmestnoe primenenie monokristal'noj i poroshkovej rentgenovskoj difrakcii v problemnyh sluchajah issledovaniya novyh, v tom chisle, metastabil'nyh faz molekuljarnyh kristallov. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata himicheskikh nauk. Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, 2010. 190 str.

Тен Константин Алексеевич, старший научный сотрудник Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны, использование синхротронного излучения. Имеет 50 публикаций. E-mail: ten@hydro.nsc.ru

Прууэл Эдуард Рейнович, старший научный сотрудник Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны, использование синхротронного излучения. Имеет 52 публикаций. E-mail: pru@hydro.nsc.ru

Лукьянчиков Леонид Александрович, главный научный сотрудник Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны, использование синхротронного излучения. Имеет 250 публикаций. E-mail: luk@hydro.nsc.ru

Толочко Борис Петрович, заведующий лабораторией Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. Основное направление исследований – химия твердого тела, ударные волны, использование синхротронного излучения. Имеет 350 публикаций. E-mail: tolochko@inp.nsk.su

Шарафутдинов Марат Рашидович, старший научный сотрудник Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. Основное направление научных исследований – рентгеноспектральный анализ с использованием синхротронного излучения. Имеет более 50 научных публикаций. E-mail: lecomt@rambler.ru

Шмаков Александр Николаевич, старший научный сотрудник Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН. Основное направление научных исследований – рентгеноспектральный анализ с использованием синхротронного излучения. Имеет более 50 научных публикаций. E-mail: shmakov@catalysis.ru

Аминов Юрий Александрович, старший научный сотрудник Российского Федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны, расчетные схемы. Имеет 30 публикаций. Тел. (351) 46 54 572

Музыря Александр Кириллович, заместитель начальника отделения Российского Федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны в сплошной среде. Имеет 30 публикаций. Тел. (351) 46 54 572

Костицын Олег Викторович, заведующий лабораторией Российского Федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны в сплошной среде. Имеет 25 публикаций. Тел. (351) 46 54 572

Смирнов Евгений Борисович, начальник сектора Российского Федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина. Основное направление исследований – физика детонации, ударные волны в сплошной среде. Имеет 20 публикаций. Тел. (351) 46 54 572

**K.A. Ten, E.R. Prueel, L.A. Lukyanchikov, B.P. Tolochko, M.R. Sharafutdinov,
A.N. Shmakov, Y.A. Aminov, A.K. Muzyrya, O.V. Kostitsyn, E.B. Smirnov**
«In situ» investigation of TATB structure by synchrotron radiation diffraction

Diffractional techniques of research of samples allow to define their internal parametres without integrity infrigement. In work results diffractional researches of explosive materials on a basis 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzola (TATB) from use synchrotron radiations from accelerating complex ВЭПП-3 (energy 2 ГэВ, Budker Institute of nuclear physics, Novosibirsk) are stated. Results of measurement of small-angular x-ray scattering synchrotron radiations ($E = 8,2$ кэВ) are resulted at change of temperature of samples from 27 to 240 °C for different density of samples. On these data internal distribution heterogeneity in a range 2...10 nanometers depending on temperature and density is received. Change of the sizes of crystal lattice TATB was spent by measurement diffractional reflexes at isobaric heating to 240 °C in a range of 4...60 degree. The distance increase between layers at heating makes $\Delta d = 0,01615$ nanometers, at normal distance $d = 0,35404$ nanometers. In diamond anvils isothermal compression of samples to pressure 6.5 ГПа is spent. Distance change between layers of crystal lattice TATB $\Delta d = 0,011$ nanometers is received at change of external pressure to 6,5 ГПа.

Key words: synchrotron radiation, small-angle X-ray scattering, crystal lattice, diffraction reflexes, TATB.