

В таблице приведены значения $T_{пл} - T_0/T_0$, рассчитанные по формуле (4) с постоянными $k, \mu, q, \delta\rho/\rho, \alpha, T_0$, взятыми из [6, 7]. В большинстве случаев $T_{пл} > T_0$, исключение составляет висмут, у которого $\delta\rho/\rho > 0$. В работе [8] было также показано, что локальное плавление внутри твердой фазы происходит в условиях перегрева.

Если нагретая область имеет форму цилиндра, то подобный подход дает

$$T_{пл} = T_0 \left(1 + \frac{1}{q} \left[\frac{k\mu}{2(k+\mu)} \left(\alpha T_0 - \frac{\delta\rho}{\rho} \right)^2 - \frac{2k\mu}{3k+4\mu} (\alpha T_0)^2 \right] \right). \quad (5)$$

В этом случае поправка к $T_{пл}$ того же порядка, но несколько меньше, чем для шара.

Учет радиационных дефектов в области термопика уменьшает $T_{пл}$ на величину $T_{пл} \Phi_g/g$ (Φ_g — термодинамический потенциал дефектов). Для оценки положим $\Phi = \nu U_g$ (ν — концентрация дефектов, U_g — энергия их образования). Согласно каскадной теории, $\nu = E/2.5E_d V$ (E_d — энергия смещения атомов; E — энергия, выделившаяся при упругих столкновениях). Считая, что $T = E/nV$, получим в первом порядке по $T_{пл} - T_0/T_0$ для сферической области (n — концентрация вещества в кристалле)

$$T_{пл} = T_0 \left[1 + \frac{1}{q} \frac{2k\mu}{3k+4\mu} \left(\left(\frac{\delta\rho}{\rho} \right)^2 - 2\alpha T_0 \frac{\delta\rho}{\rho} \right) - \frac{T_0 U_g n}{2.5E_d q} \right]. \quad (6)$$

Учет дефектов ведет к незначительному (1—3 %) уменьшению $T_{пл}$.

Таким образом, температура $T_{пл}$, необходимая для плавления области термопика, превышает температуру плавления в обычных условиях в среднем на 30 %.

Литература

- [1] *Seitz F.* // Disc. Farad. Soc. 1949. Vol. 5. P. 271—278.
- [2] *Brinkman J. A.* // J. Appl. Phys. 1954. Vol. 25. N 8. P. 961—970.
- [3] *Pramanik D., Scidman D. N.* // Nucl. Instr. and Meth. 1983. Vol. 209/210. N 1. P. 453—459.
- [4] *Kapinos V. D., Platonov P. A.* // Radiation Effects. 1987. Vol. 103. N 1—4. P. 45—57.
- [5] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теория упругости. М.: Наука, 1965. 204 с.
- [6] *Лейбфрид Г.* Микроскопическая теория механических и тепловых свойств кристаллов. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1963. 312 с.
- [7] Свойства элементов / Под ред. Самсонова Г. В. М.: Металлургия, 1976. Ч. 1. 600 с.
- [8] *Лифшиц И. М., Гулида Л. С.* // ДАН. 1952. Т. 87. № 3. С. 377—380.

Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова
Москва

Поступило в Редакцию
14 декабря 1987 г.

ВЛИЯНИЕ МИКРОРАСТРЕСКИВАНИЯ НА ФОРМУ ДИФРАКЦИОННОЙ ЛИНИИ ГРАФИТОПОДОБНОГО BN В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

В. А. Песин

Рентгеновские исследования напряженного состояния многофазных поликристаллических материалов основаны на анализе изменений положения и формы рентгеновских дифракционных линий. Как правило, эти изменения невелики, особенно для хрупких материалов, что в значительной мере затрудняет проведение таких измерений. В настоящей работе в качестве модельного материала для таких исследований предлагается поликристаллический сверхтвердый материал на основе нитрида бора, получаемый спеканием микропорошков вюрцитоподобного (BN_v) или сфалеритоподобного ($BN_{сф}$) нитрида бора при высоких давлениях и температурах. В этом материале может присутствовать до 5 % графитоподобного нитрида бора (BN_g), который образуется в процессе спекания [1, 2]. Включения BN_g находятся в сжатом состоянии, величина остаточных сжимающих напряжений зависит от температуры спекания и может изменяться в широком интервале (до 4 ГПа). Межплоскостное расстояние d_{002} , определяемое по центру тяжести линии (002) BN_v , изменяется от 3.33 до 3.08—3.10 Å. Такие большие изменения позволяют изучать не только зависимость остаточных напряжений

от условий спекания, но и дают возможность фиксировать процессы микрорастрескивания при механическом нагружении и термической обработке.

Механическое нагружение цилиндрических образцов осуществляется сжатием плоскими пуансонами по образующей перпендикулярно оси цилиндра. Рентгеновская съемка образцов проводилась на дифрактометре ДРОН-2 в CuK_α излучении. На рис. 1 показаны изменения формы линии (002) BN_r в результате нагружения и после дробления образца, полученного спеканием вюрцитоподобного BN . Линия (002) приобретает «двугорбую» форму с максимумами, соответствующими свободному и сжатою BN_r , т. е. происходит частичная релаксация напряжений и высвобождение сжатых включений BN_r за счет микрорастрескивания или разрушения. В некоторых образцах сразу после спекания и снятия внешнего давления на-

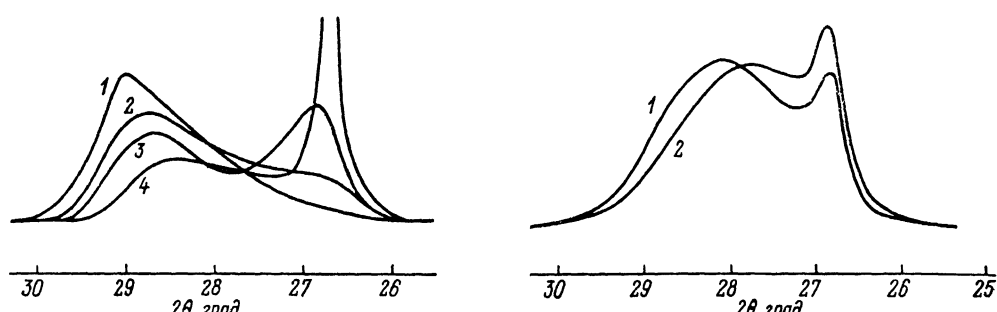


Рис. 1. Изменение формы линии (002) BN_r после механического воздействия.

1 — исходный образец, 2 — механическое нагружение, 3 — дробление (величина частиц 100 мкм), 4 — дробление (величина частиц менее 50 мкм).

Рис. 2. Изменение формы линии (002) BN_r после термообработки ($T=900^\circ\text{C}$).

1 — исходный образец, 2 — после нагрева.

блюдается «двугорбая» форма дифракционной линии (002), что связано с самопроизвольным микрорастрескиванием. Нагружение таких образцов приводит к дополнительному микро-растрескиванию, которое проявляется в изменении формы линии: увеличивается интенсивность максимума, соответствующего свободному BN_r , уменьшается интенсивность максимума, соответствующего сжатою BN_r , и он смещается в область меньших углов.

При нагревании таких материалов из-за различия в коэффициентах термического расширения матрицы (BN_n , $\text{BN}_{\text{сф}}$) и включений (BN_r) ($8 \cdot 10^{-6}$ и $40 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ соответственно) напряжения во включениях BN_r и матрице возрастают, что может приводить к дополнительному растрескиванию. На рис. 2 показаны изменения формы линии (002) после нагрева и охлаждения образца, полученного спеканием $\text{BN}_{\text{сф}}$. Видно, что термообработка приводит к эффектам, аналогичным механическому нагружению образцов.

Таким образом, в композиционных материалах на основе BN обнаружено, что микро-растрескивание приводит к значительным изменениям формы дифракционной линии (002) BN_r . Такие изменения легко фиксируются, что позволяет использовать композиционные материалы на основе BN как удобный объект при исследованиях процессов образования микротрещин при нагружении хрупких материалов.

Литература

- [1] Песин В. А., Ткаченко Н. Н., Фельдгуц Л. И. // ЖФХ. 1979. Т. 53. № 11. С. 2794—2798.
 [2] Курдюмов А. В., Джамаров С. С., Балан Т. Р. // Сверхтвердые материалы. 1986. № 3. С. 3—7.

Научно-производственное объединение
 Всесоюзный научно-исследовательский
 институт абразивов и шлифования
 Ленинград

Поступило в Редакцию
 8 декабря 1987 г.