

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В КАМЕННОЙ СОЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ ВОЛН

М. И. Бражник, Л. В. Альтшулер, Л. А. Тарасова
(Москва)

Фазовые превращения в КСl закономерно протекают при давлении ударного сжатия, превышающем критические давления фазового превращения [1—4]. При снятии давлений плотная фаза КСl не сохраняется в метастабильном состоянии и не может быть поэтому обнаружена методами рентгеноструктурного анализа. Но обнаружить протекание фазовых превращений в монокристаллических образцах можно по диспергированию их структуры в результате двойной фазовой перекристаллизации.

Следствием ее является возникновение в теле монокристалла множества включений поликристаллической фракции того же самого вещества, но произвольной ориентации. Такое строение вещества легко обнаруживается на лауэграммах при рентгеноструктурной съемке обжатого образца нефилтрованным пучком рентгеновских лучей. При отсутствии в образце следов двойного фазового перехода лауэграмма обнаружит только пятна астеризма деформированного монокристалла, а при наличии — большое число точечных интерференций, расположенных по пленке и по дебаевским кольцам.

Для выяснения условий и самого факта существования фазового превращения в NaCl образцы из монокристалла NaCl были исследованы в широком диапазоне давлений от 40 до 350 кбар. В проведенных опытах изменялась начальная температура образцов и ориентация их кристаллографических осей. Методика обжатия аналогична приведенной в работе [1].

Для получения всестороннего обжатия образцы помещались в контейнеры из алюминия и железа, которые, в свою очередь, заключались в массивные блюмсы. Ударные волны создавались ударом пластины или непосредственным воздействием продуктов взрыва.

Схемы опытов даны на рис. 1 и 2. В опытах по схеме рис. 1 создавалось давление однократного сжатия в 40 и 62 кбар. В опытах, выпол-

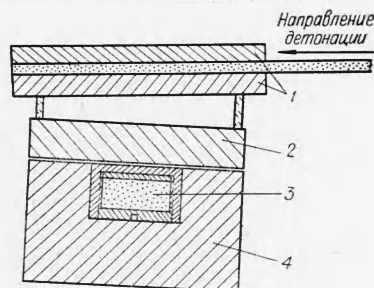


Рис. 1. Схема обжатия образцов ТГ 50/50 ($\Delta=6$) давлениями однократного сжатия в 40 и 62 кбар. 1 — стальные диски; 2 — экран; 3 — контейнер с образцом; 4 — обойма.

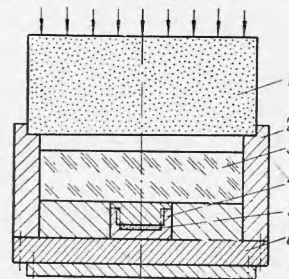


Рис. 2. Схема получения в образцах максимальных давлений в 120—250 кбар. 1 — заряд ВВ; 2 — обойма; 3 — экран; 4 — контейнер; 5 — образец; 6 — опорный диск.

| Температура образца перед опытом, °С | В первой ударной волне | | При максимальном давлении | | Температура после разгрузки, °К | Время остывания до 20 °С, сек |
|--------------------------------------|------------------------|----------|---------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | p , кбар | T , °К | p_{\max} , кбар | T_{\max} , °К | | |
| +55 | 40 | 414 | — | — | 321 | 3,5 |
| +55 | 62 | 470 | — | — | 350 | 3,8 |
| +75 | 62 | 507 | — | — | 379 | 4,5 |
| +55 | 44 | 428 | 120 | 515 | 343 | 3,8 |
| +75 | 44 | 460 | 120 | 554 | 360 | 4,0 |
| +20 | 92 | 495 | 200 | 596 | 360 | 4,0 |
| +55 | 92 | 575 | 200 | 692 | 404 | 4,5 |
| +75 | 92 | 621 | 200 | 747 | 430 | 5,0 |
| +55 | 113 | 632 | 250 | 792 | 424 | 5,0 |
| +75 | 113 | 704 | 250 | 856 | 450 | 5,1 |
| -160 | 150 | 263 | 350 | 329 | 200 | — |
| -20 | 150 | 579 | 350 | 724 | 361 | 4,0 |
| +20 | 150 | 707 | 350 | 886 | 406 | 4,5 |
| +75 | 150 | 881 | 350 | 1103 | 505 | 5,6 |

ненных по схеме рис. 2, имело место ступенчатое нагружение образцов до давлений в 120 : 250 кбар. Для изменения начальной температуры образцов от +75 до -160° С сборки погружались в ванну из подогретой воды или жидкого азота.

Условия проведения опытов, максимальные температуры ударного сжатия и температуры после разгрузки даны в таблице. Дополнительная и очень существенная информация была получена в результате термической обработки деформированных образцов. Для определения порога рекристаллизации образцы подвергались нагреву до температур в 150 - 250° С. Состояние образцов после подогрева и на всех стадиях термообработки контролировалось рентгеновским методом.

В соответствии с предположением Алдера [5] основная часть опытов была проведена на кристаллах, ориентированных по оси 111, направленной вдоль движения ударной волны. Было обнаружено (рис. 3) существование двойной фазой перекристаллизации при давлении ударного сжатия 92/200 кбар (92 кбар — давление в первой ударной волне; 200 кбар — максимальное давление ударного сжатия) и обязательном небольшом подогреве образцов от 20 до 75° С. С увеличением температуры подогрева относительная доля поликристаллической фракции в обжатом образце резко увеличивается. При понижении давлений ударного сжатия до 40 кбар и при повышении их до 350 кбар поликристаллическая фракция совершенно не фиксировалась. Отсюда следуют выводы:

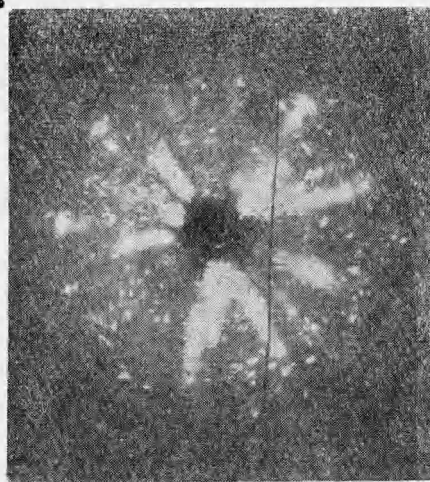


Рис. 3. Рентгенограмма монокристалла, ориентированного вдоль оси 111 и деформированного давлениями 92/200 кбар. Начальная температура образца 40° С.

1. Появление поликристаллических фракций не связано с тривиальным процессом рекристаллизации деформированного образца после снятия разгрузки, так как в этом случае про-

цесс протекал бы при давлении в 350 кбар значительно интенсивнее, чем при 200 кбар.

2. Существует оптимальный диапазон давлений и температур, при котором ударная деформация наиболее активно стимулирует образование зародышей плотной фазы и дальнейшую перекристаллизацию.

Этот диапазон виден на диаграмме рис. 4 в координатах давление — температура и заключен по давлениям между 100 и 300 кбар и по температурам между 200 и 600°С.

3. Обращают внимание довольно значительные размеры отдельных интерференций. Это обстоятельство указывает, по-видимому, на то, что процесс регулярной перекристаллизации (прямой и обратной) охватывает довольно крупные кристаллические блоки и проходит со скоростями, близкими к скорости звука.

Ряд опытов, проведенных с кристаллами, ориентированными вдоль оси куба, показал, что для них область активного превращения сильно сокращается. Так, при нагреве образцов до 50°С и давлении 92/200 кбар перекристаллизация явно не обнаруживалась (рис. 5, а).

Очень интересная информация была получена при термообработке образцов,

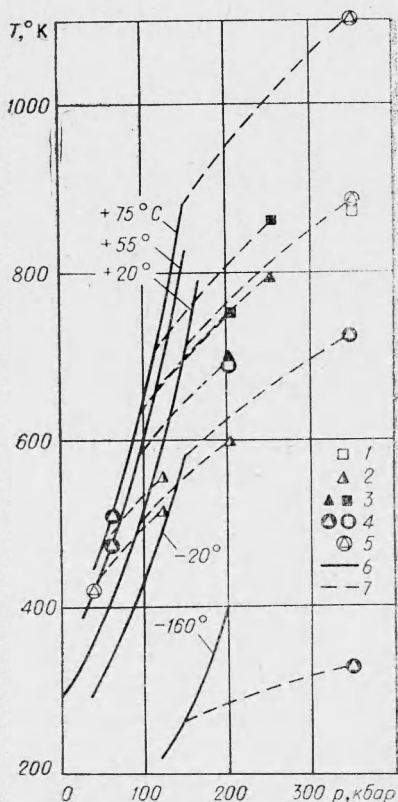


Рис. 4. p — T -диаграмма ударного сжатия образцов NaCl. Результаты опытов при ориентации образцов вдоль оси 111 обозначены треугольником, вдоль оси 001 — квадратом.

1 — отсутствие перекристаллизации; 2 — начальная фаза перекристаллизации; 3 — поликристаллическая фракция преобладает; 4 — рекристаллизация при 150°С; 5 — отсутствие рекристаллизации при 250°С; 6 — ударные адиабаты; 7 — изэнтропы дожатия.

на которых не было видимых следов фазового превращения. На рис. 5 показаны две лауэграммы образца, деформированного давлениями 92/200 кбар, у которого ось деформации совпадала с осью 001.

На первой лауэграмме, как указывалось, нет заметных следов фазового превращения, но заметна повышенная вуаль снимка. На второй лауэграмме, снятой после нагрева до 150°С, эти следы ясно заметны. Вместе с тем для образцов, обжатых давлениями однократного сжатия в 40 кбар, нагрев до 250°С не привел к появлению интерференций от поликристаллической фазы.

Аналогичный эффект быстрого роста разориентированных кристаллов отмечен для образца, деформированного давлениями 150/350 кбар при начальной температуре его — 160°С. Однако при тех же давлениях обжатия в 350 кбар у образцов, предварительно не охлажденных, при последующем нагревании до 250°С перекристаллизации не обнаружено. Авторы связывают эффект резкого снижения порога рекристаллизации с наличием дисперсных зародышевых центров фазовой перекристаллизации, субатомных размеров.

Как показывают эти эксперименты, существуют режимы ударного нагружения, при которых создаются условия для возникновения зароды-

дышевых центров, но нет условий для перекристаллизации окружающего их материнского монокристалла.

На $p-T$ -диаграмме состояния образцов с резко сниженным порогом рекристаллизации находятся вне зоны «активного превращения», но не слишком далеко от ее границ.

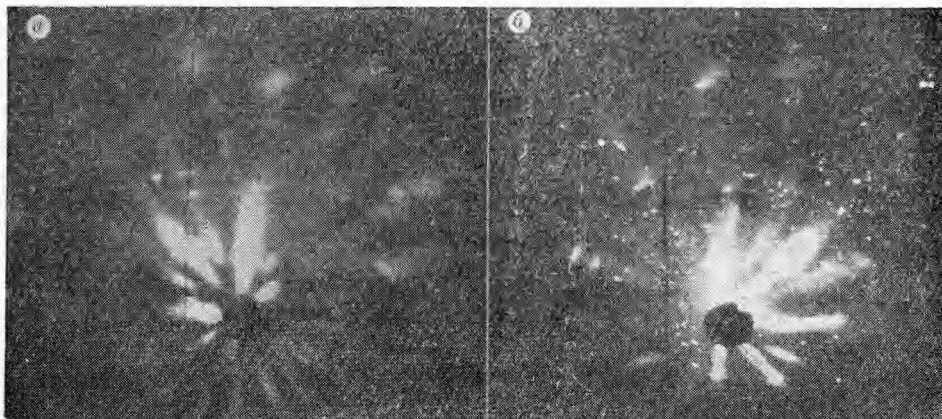


Рис. 5. Рентгенограммы монокристалла, ориентированного вдоль оси 001 и деформированного давлениями 92/200 кбар. Начальная температура образца 50° С.
а) снимок после обжатия; б) снимок после подогрева в течение 30 мин при 150° С.

Предшествующие работы не приводили к единой и достаточно обоснованной точке зрения на существование фазового перехода в NaCl под действием давлений [6—9].

Полученный материал убедительно свидетельствует о существовании фазового перехода в NaCl и указывает условия его стимулирования. Следует ожидать, что для оптимальных условий деформации (деформация в направлении оси 111 и учет температуры при приложенном давлении) фазовые превращения могут быть обнаружены и по излому динамической адиабаты, зафиксированному с помощью электроконтактного или магнитоэлектрического методов.

Поступила в редакцию
14/III 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Альтшулер, М. И. Бражник, В. Н. Герман. ФТТ, 1967, 9, 3063.
2. Л. В. Альтшулер, М. Н. Павловский и др. ФТТ, 1963, 5, 279.
3. Л. В. Альтшулер, М. Н. Павловский, В. П. Дракин. ЖЭТФ, 1967, 52, 400.
4. А. Н. Дремин, С. В. Першин, В. Ф. Погорелый. ФГВ, 1965, 1, 4.
5. G. V. Alder. Solids under Pressure. N. Y., 1963.
6. С. Б. Кормер, М. В. Сеницын и др. ЖЭТФ, 1965, 48, 1033.
7. Л. Ф. Верещагин, С. С. Кабалкина, Н. Р. Серебряная. ЖЭТФ, 1966, 51, 5.
8. G. C. Gamieson. Physics of solids at high pressures. N. Y., 1965.
9. D. Larson, N. Keeler a. o. Phys. Chem. Solids., 1966, 27, 476.